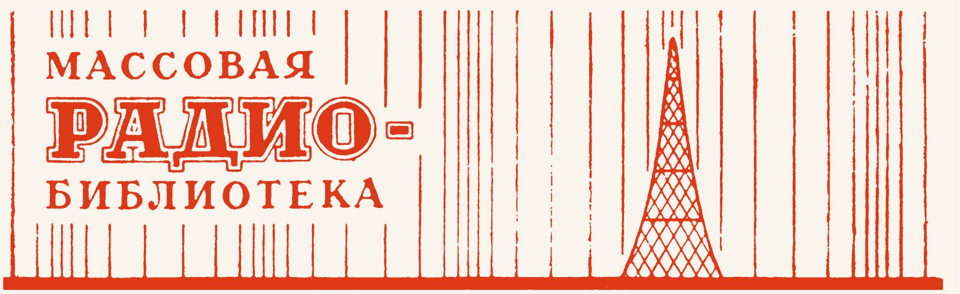
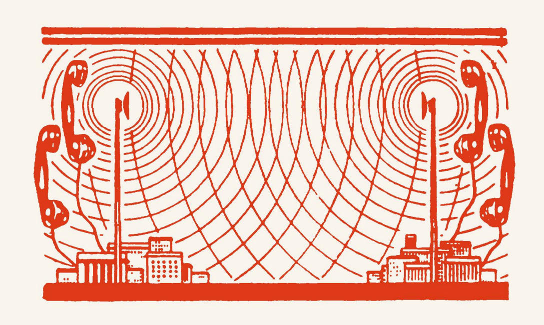


П. И. ЕВДОКИМОВ

МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ МНОГОКАНАЛЬНОЙ РАДИОСВЯЗИ





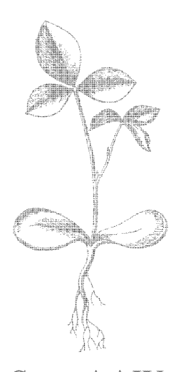
ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

МАССОВАЯ РАДИО БИБЛИОТЕКА
ПОД ОБЩЕЙ РЕДАКЦИЕЙ АКАДЕМИКА *А. И. БЕРГА*

Выпуск 142

П. И. ЕВДОКИМОВ

МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ МНОГОКАНАЛЬНОЙ РАДИОСВЯЗИ





ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1952 ЛЕНИНГРАД

52139

В брошюре излагаются основные принципы многоканальной радиосвязи с использованием частотной и временной селекции и приводится краткое описание систем многоканальной радиосвязи на коротких и ультракоротких волнах для целей радиотелефонии и радиотелеграфии.

Книжка рассчитана на широкие круги радиолюбителей, а также лиц, интересующихся техникой радиосвязи.

Редактор *Я. Л. Быховский* Техн. редактор *Л. М. Фридкин*

Сдано в набор 4/III-1952 г. Подписано к печати 17/V 1952 г.
Бумага 84 × 108$^{1}/_{32}$ = 1 бум. л., —3,28 п. л. Уч.-изд. л. 3,7
Т-03950 Тираж 15 000 Заказ 3105
Цена 1 р. 50 к. (номинал. по прейскуранту 1952 г.)

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Радио — одно из крупнейших достижений человеческой мысли — изобретено в нашей стране. Передача сигналов по радио, была впервые осуществлена 7 мая 1895 г. великим русским ученым А. С. Поповым; это положило начало новой отрасли техники — техники радио.

Благодаря неустанным заботам большевистской партии и правительства радиотехника в Советском Союзе получила такое развитие и распространение, как ни в какой другой стране.

Развитие радиотехники шло, и до сих пор идет, не только по пути конструирования специальной аппаратуры для радиосвязи, но также и по пути изучения условий распространения радиоволн различных диапазонов. Очень много сделано в этой области советскими учеными: акад. Б. А. Введенским, проф. М. А. Бонч-Бруевичем, проф. М. В. Шулейкиным, проф. А. Н. Щукиным и др.

В результате работ этих ученых были установлены основные законы распространения коротких и ультракоротких радиоволн, что позволило эффективно использовать их для нужд связи как на небольших, так и на очень больших расстояниях.

Деятели советской науки и техники, следуя благородным традициям передовых русских ученых, продолжают совершенствовать технику радио, открывая новые возможности его применения.

Еще до Великой Отечественной войны в нашей стране началось применение новых принципов многоканальной

радиосвязи, когда через один передатчик одновременно посылается несколько телефонных и телеграфных передач.

В послевоенное время большое развитие получила техника многоканальной радиосвязи на ультракоротких волнах (УКВ). При этом с помощью цепочек приемно-передающих радиостанций, называемых радиорелейными линиями, осуществляется одновременно до нескольких десятков телефонных и сотен телеграфных передач.

Применение направленных антенн для связи на УКВ и, в частности, в системах радиорелейных линий связи позволило не только снизить значение необходимых мощностей для передатчиков, но и существенно ослабить интенсивность различного рода помех на входе приемников. Возможность концентрации высокочастотной энергии в желаемом направлении позволяет обходиться для нужд связи на расстояниях в несколько десятков километров ничтожно малыми мощностями, составляющими доли ватта. В области развития теории и техники направленных антенн очень многое сделали советские ученые: проф. А. А. Пистолькорс, проф. В. В. Татаринов и др.

Советские ученые своими трудами подняли технику многоканальной передачи на высокую ступень развития.

В настоящей брошюре дается понятие об основных принципах и системах многоканальной радиосвязи и отдельных элементах устройств, применяющихся в этих системах.

П. Евдокимов

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О РАДИОСВЯЗИ

ЗАДАЧИ РАДИОТЕЛЕФОННОЙ СВЯЗИ

Основная задача радиотелефонной связи в отличие от радиовещания, где передаются и музыка, и речь, состоит в передаче из одного пункта в другой только речи. Как известно, человеческая речь состоит из комбинации различных звуков, каждый из которых характеризуется колебаниями различной амплитуды и частоты.

Многочисленными исследованиями установлено, что нормальная разборчивость речи обеспечивается при передаче полосы частот от 300 до 2 700 *гц*.

Задачей радиотелефонной связи является передача этой сравнительно узкой полосы частот.

Ограничение спектра частот для радиотелефонной связи обычно производится на передающей стороне с помощью полосовых электрических фильтров.

ПРОСТЕЙШИЙ СПОСОБ РАДИОТЕЛЕФОННОЙ СВЯЗИ

Простейшая скелетная схема линии радиотелефонной связи приведена на фиг. 1.

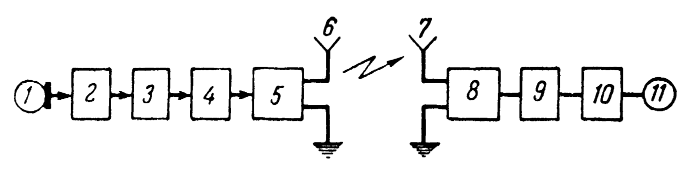
При выключенном микрофоне передающая станция направляет в антенну ток неизменной частоты и амплитуды.

Во время разговора микрофон *1* развивает переменное напряжение, соответствующее звуковым колебаниям речи. Полосовой фильтр *2* пропускает к усилителю полосу частот от 300 до 2 700 *гц*. После усиления *3* звуковые частоты подаются на модулятор *4*, где воздействуют на колебания высокой частоты, изменяя их амплитуду или частоту.

Процесс воздействия на колебания высокой частоты колебаниями частот, которые необходимо передать по радио, называется модуляцией.

Передающая антенна при наличии в ней токов высокой частоты излучает в пространство электромагнитную энергию, которая, воспринимаясь приемной антенной 7, создает в ней напряжение, изменяющееся так же, как в передающей антенне.

Усиленное приемником 8 напряжение преобразуется детектором 9, после которого получаются низкочастотные ко-



Фиг. 1. Скелетная схема линии радиотелефонной связи.

1 — микрофон; *2* — полосовой фильтр; *3* — усилитель; *4* — модулятор; *5* — высокочастотный генератор; *6* — передающая антенна; *7* — приемная антенна; *8* — приемник; *9* — детектор; *10* — усилитель; *11*—телефон.

лебания, соответствующие колебаниям, составляющим речь. После необходимого усиления *10* низкие звуковые частоты подаются к телефону *11*. Таким образом, высокочастотные колебания являются как бы переносчиком низких частот, характеризующих речь.

Приведенная схема иллюстрирует передачу речи только в одну сторону. Для двусторонней радиосвязи необходим второй комплект радиооборудования, т. е. еще один передатчик и приемник для передачи речи в обратном направлении.

РАДИОРЕЛЕЙНЫЕ ЛИНИИ СВЯЗИ

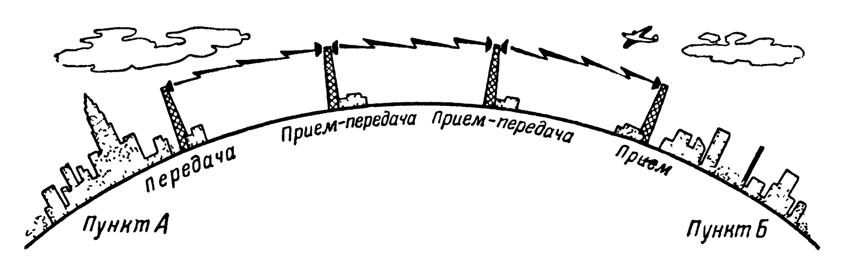
Ультракороткие волны, особенно в дециметровом и сантиметровом диапазонах (частоты выше 300 *мггц*), распространяются почти прямолинейно, примерно так же, как световые лучи. Поэтому вследствие кривизны поверхности земного шара радиус действия радиостанции на УКВ невелик. При подъеме антенн на несколько десятков метров радиус действия измеряется десятками километров. Однако с помощью УКВ можно осуществить радиосвязь на сотни и тысячи километров. Для этого применяется такой способ передачи сигналов, как сотни лет тому назад в световом телеграфе.

Для связи с помощью светового телеграфа устанавливались вышки, на вершинах которых укреплялись специальные световые сигнальные устройства. Смена световых сигналов передавалась от одной вышки к другой, и так перекрывались огромные пространства. Связь при этом была

медленной и требовала при больших расстояниях для передачи одной телеграммы нескольких часов.

Теперь используются подобные башни, устанавливаемые на расстояниях порядка 60—80 и даже 100 *км*. На верхушках башен размещаются антенны приемно-передающих радиостанций, работающих на УКВ (фиг. 2).

Связь между городами, таким образом, устанавливается по цепочке радиостанций. Одна станция посылает сигналы, они принимаются следующей и посылаются дальше, и так от одного пункта к другому до конца линии. Благодаря на-



Фиг. 2. Схема радиолинейной линии связи.

правленной передаче радиоволн подобные радиолинии работают при малых мощностях передатчиков, так как энергия не рассеивается в пространстве.

Радиолинии с использованием цепочек радиостанций называются радиорелейными линиями связи.

Принцип радиорелейной связи впервые был предложен пионерами радиотехники проф. И. Г. Фрейманом и проф. М. А. Бонч-Бруевичем. В настоящее время задачи дальней радиосвязи на УКВ решаются главным образом с помощью радиорелейных линий.

Экономически целесообразно радиолинии связи выполнять так, чтобы можно было осуществлять ряд передач по цепочке радиостанций. Поэтому современные радиорелейные линии являются многоканальными, т. е. позволяющими передачу одновременно большого числа телефонных переговоров без взаимных помех.

Высокая надежность связи с помощью радиорелейных линий позволяет обойтись без обслуживающего персонала на промежуточных станциях. Они действуют автоматически с управлением от сигналов, которые посылаются с одного или другого конца радиорелейных линий.

ГЛАВА ВТОРАЯ

МЕТОДЫ МОДУЛЯЦИИ КОЛЕБАНИЙ В РАДИОСВЯЗИ

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Радиотелефонная связь обычно осуществляется путем модуляции токов высокой частоты передатчика низкочастотными звуковыми колебаниями. В технике радиосвязи широко применяются два вида работы передатчиков. Первый — при непрерывном излучении энергии передатчиком и второй — при импульсном излучении энергии передатчиком.

При непрерывном излучении энергии колебания тока в антенне характеризуются амплитудой и частотой, поэтому возможна модуляция амплитуды колебаний при стабильном значении частоты несущей либо модуляция частоты при стабильном значении амплитуды тока в антенне. В связи с этим различают следующие методы модуляции колебаний при непрерывном излучении энергии: амплитудную модуляцию— сокращенно АМ и частотную модуляцию — сокращенно ЧМ.

Достигнутые радиотехникой за последние годы успехи в области освоения дециметровых и сантиметровых волн, а также развитие радиолокационной техники позволили применить для радиосвязи новые способы управления колебаниями передатчиков.

Как известно, радиолокационные передатчики работают кратковременными импульсами, причем продолжительность импульсов во много раз меньше пауз между импульсами. При таких режимах работы можно получать мощности в импульсе в сотни и тысячи раз больше средней мощности.

Для целей связи точно такой режим работы, как у радиолокационных передатчиков, непременим, потому что для радиотелефонии нужно импульсы модулировать, чтобы они могли быть носителями звуков речи. В связи с этим были разработаны методы модуляции импульсов.

При импульсном излучении энергии передатчика импульсы можно характеризовать амплитудой, длительностью или положением по отношению к фиксированным моментам времени. Если импульсы высокочастотных колебаний будут приняты приемником и продетектированы, то на выходе детектора будут получены импульсы постоянного напряжения, которые также будут характеризоваться амплитудой, длительностью и положением относительно фиксированных моментов времени. В связи с этим различают следующие методы импульсной модуляции:

1. Амплитудно-импульсная модуляция (АИМ), когда амплитуда высокочастотных импульсов, посылаемых передатчиком, изменяется в соответствии с колебаниями модулирующего напряжения.

2. Широтно-импульсная модуляция (ШИМ), когда амплитуда высокочастотных колебаний у всех импульсов, посылаемых передатчиком, остается неизменной, а изменяется длительность самих импульсов (ширина импульсов).

3. Фазо-импульсная модуляция (ФИМ), когда и амплитуда импульсов высокочастотных колебаний, и их длительность остаются неизменными, а изменяется положение импульсов по отношению к фиксированным моментам времени, иначе говоря, меняется фаза импульсов.

Для того чтобы осуществить подобные режимы работы передатчиков, необходимо на передающей станции иметь специальные модуляторы, которые должны вырабатывать импульсы соответствующей формы.

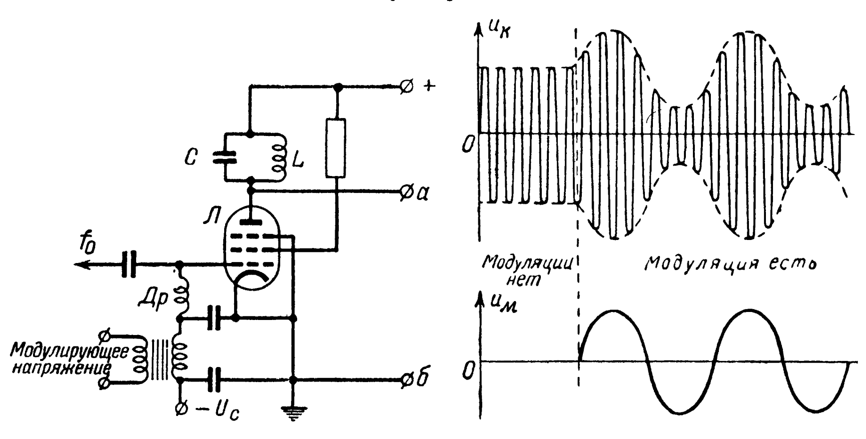
При различных методах импульсной модуляции всегда имеет место двойная модуляция: первичная модуляция серии импульсов постоянного напряжения или тока сигналами передаваемого сообщения и вторичная модуляция амплитуды высокочастотных колебаний импульсами, полученными при первичной модуляции.

АМПЛИТУДНАЯ МОДУЛЯЦИЯ

Наиболее распространенным методом модуляции является такой, когда у колебаний, посылаемых передатчиком в антенну, изменяется амплитуда, а их частота остается неизменной. Такой способ модуляции называется амплитудной модуляцией или, сокращенно, АМ.

Электрических схем, с помощью которых можно получать амплитудную модуляцию, известно несколько; при этом ряд схем, нашедших широчайшее применение в практике радиосвязи, был разработан в Советском Союзе. Советские ученые А. И. Берг, А. Л. Минц и др. внесли в эту область еще на заре развития техники радиосвязи очень много нового и ценного. Простейшая схема, с помощью которой возможно получение АМ, приведена на фиг. 3. Колебания от генератора с частотой f_0, подаются на управляющую сетку лампы *Л*. Модулирующее напряжение подается также на эту сетку лампы. При надлежащим образом подобранном режиме лампы на зажимах колебательного контура *LC*, настроенного на частоту f_0, в анодной цепи лампы получает-

ся напряжение $u_к$ с изменяющейся амплитудой (фиг. 4), причем огибающая амплитуда соответствует модулирующим напряжениям $u_м$. Напряжение, снимаемое с зажимов *а* и *б*, подается на усилитель мощности, и затем усиленные колебания подаются в антенну передатчика.



Фиг. 3. Схема модулятора.

Фиг. 4. Колебания, модулированные по амплитуде.

Русский ученый проф. М. В. Шулейкин первый в истории радиотехники установил, что при амплитудной модуляции передатчик направляет в антенну ток, который содержит, помимо несущей частоты f_0, дополнительные частоты, отличающиеся от несущей на величину частот модуляции.

Так, например, если модуляция несущей частоты передатчика будет осуществляться только одной звуковой частотой, допустим равной 1 000 *гц*, то дополнительные частоты, направляемые передатчиком в антенну, будут:

$$f_0 - 1\,000 \text{ гц} \text{ и } f_0 + 1\,000 \text{ гц}.$$

Эти дополнительные частоты называются б о к о в ы м и частотами.

Если модуляция несущей частоты передатчика осуществляется спектром частот, как это имеет место при передаче речи, то ток в антенне состоит из несущей частоты f_0 и спектра боковых частот.

Например, при передаче речи, когда спектр модулирующих частот ограничен частотами от 300 до 2 700 *гц*, боковые

частоты будут ограничены в области так называемых верхних и нижних боковых частот частотами:

$$\text{от } f_0 + 300 \text{ гц до } f_0 + 2\,700 \text{ гц}$$

и

$$\text{от } f_0 - 300 \text{ гц до } f_0 - 2\,700 \text{ гц}.$$

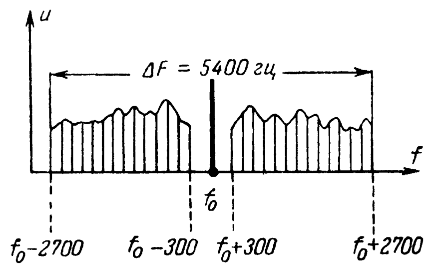
Спектр несущей и боковых частот показан на фиг. 5.

Для одного радиотелефонного передатчика с амплитудной модуляцией требуется спектр частот от $f_0 - 2\,700$ *гц* до $f_0 + 2\,700$ *гц*, а вся полоса частот при передаче речи равна удвоенному значению наивысшей частоты модуляции, т. е.

$$\Delta F_{AM} = 2 \cdot 2\,700 = 5\,400 \text{ гц}.$$

Здесь ΔF_{AM} — полоса частот, необходимая для радиосвязи с АМ.

Если для другой радиолинии связи взята несущая частота f_0', то эта частота должна отличаться от частоты f_0 настолько, чтобы боковые частоты этих радиолиний не перекрывались. Так как каждой радиостанции требуется определенная полоса частот, то в диапазоне длинных и средних волн, занимающих частоты до 1 500 *кгц*, может быть без взаимных помех размещено весьма ограниченное количество радиостанций. Поэтому эти диапазоны используются главным образом для радиовещательных станций. Для целей связи используются диапазоны коротких и ультракоротких волн, занимающих частоты от 6 до 3 000 *мггц*, где возможное число каналов радиосвязи практически не ограничено.



Фиг. 5. Спектр несущей и боковых частот.

f_0 — несущая частота; ΔF — полоса частот для одного канала с АМ.

Однако использование АМ на весьма высоких частотах для целей связи не является целесообразным, так как за счет нестабильности настройки передатчика и приемника требуется расширение полосы частот, отводимой одному каналу радиосвязи. Так, например, если несущая частота f_0 взята равной 100 *мггц*, что соответствует длине волны 3 *м*, то при стабильном значении частоты передатчика и на-

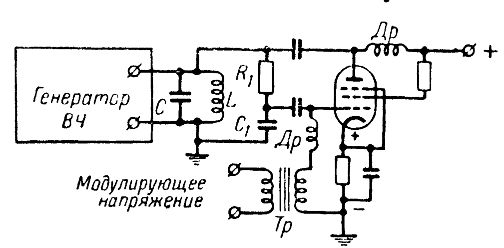
стройки гетеродина приемника полоса частот, необходимая каналу связи при передаче речи, была бы равной

$$\Delta F_{AM} = 5\,400 \text{ гц}.$$

Если же частота передатчика имеет нестабильность порядка 0,05%, то за счет этой нестабильности частота f_0 может изменяться в пределах $\pm$ 50 000 *гц*. Вследствие этого полосу пропускания частот контуров приемника надо брать равной не менее 100 000 *гц* (по 50 000 *гц* вправо и влево от значения несущей частоты). Необходимость брать более широкую полосу частот для линии радиосвязи на УКВ с АМ (чем это целесообразно) является недостатком АМ, ибо расширение полосы частот вызывает значительное увеличение помех, воздействующих на приемник. По этим причинам амплитудная модуляция в диапазоне УКВ уступает другим методам модуляции.

ЧАСТОТНАЯ МОДУЛЯЦИЯ

Метод модуляции, когда амплитуда тока в антенне передатчика остается все время неизменной, но его частота меняется в соответствии с модулирующими колебаниями, называется частотной модуляцией (сокращенно — ЧМ). Схем, с помощью которых можно получить модуляцию частоты, в настоящее время известно несколько. Наиболее широкое применение в практике радиосвязи находит схема с использованием электронной лампы, эквивалентной реактивному сопротивлению и подключенной параллельно колебательному контуру лампового генератора (фиг. 6). При определенном режиме лампа, подключенная к зажимам контура, может быть эквивалентной емкости или индуктивности, величина которых изменяется напряжением, подаваемым на управляющую сетку лампы. Изменение частоты с помощью такой схемы показано на фиг. 7. Идея об использовании лампы для модуляции частоты и теория работы такого модулятора были разработаны в 1931 г. совет-



Фиг. 6. Схема лампы, эквивалентной реактивному сопротивлению.

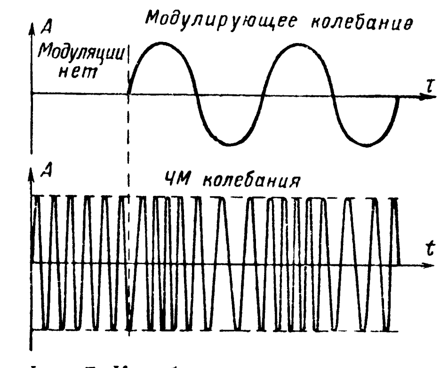
ским ученым Г. В. Брауде. В настоящее время главным образом применяется этот способ модуляции частоты.

В отличие от АМ метод ЧМ требует для одного канала радиотелефонной передачи полосу частот, которая определяется не двойным значением наивысшей частоты модуляции, а двойным значением величины, на которую отклоняется частота во время модуляции при условии, что это отклонение частоты больше наивысшей частоты модуляции.

Так, например, если при модуляции частота получает приращение в одну и другую стороны на 25 000 *гц*, то полоса частот, необходимая каналу радиосвязи, будет определяться величиной

$$\Delta F_{чм} = 2 \cdot 25\,000 = 50\,000 \text{ гц}.$$

При частотной модуляции полоса частотного спектра не зависит от того, какой частотой осуществляется модуляция — низкой, высокой или спектром частот. При отсутствии модуляции частота колебаний, излучаемых передатчиком, равна так называемой центральной частоте f_0, а при модуляции появляются боковые частоты, которые заполняют всю полосу частот $\Delta F_{чм}$ в пределах 50 000 *гц*. Если величина частотного отклонения превышает наивысшую частоту модуляции в несколько раз, то такой метод модуляции называется широкополосной частотной модуляцией.



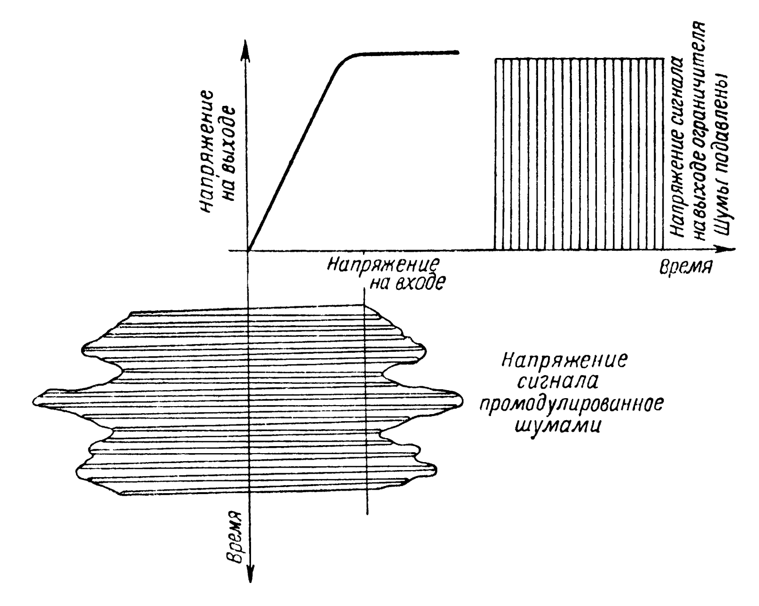
Фиг. 7. Колебания, модулированные по частоте.

Нетрудно видеть, что полоса частот, необходимая одному каналу радиосвязи при ЧМ, во много раз больше, чем при АМ, поэтому число станций с частотной модуляцией, которые можно разместить в данном диапазоне, меньше, чем число станций с АМ, если не учитывать нестабильность частоты передатчиков. Однако ЧМ дает возможность повысить по сравнению с АМ помехоустойчивость радиосвязи.

Исследованиями советского ученого проф. В. И. Сифорова установлено, что ЧМ в диапазоне метровых волн по-

зволяет получить выигрыш по помехоустойчивости в 10—30 раз по сравнению с системой АМ.

Исследования методов приема сигналов ЧМ показали, что путем установки перед частотным детектором специального устройства — амплитудного ограничителя вредное действие помех может быть ослаблено во много раз.



Фиг. 8. Действие амплитудного ограничителя.

Действие ограничителя иллюстрируется фиг. 8. Ограничитель срезает все изменения амплитуды. На модуляции частоты действие ограничителя амплитуд не сказывается.

Это обстоятельство является большим преимуществом системы ЧМ. Поэтому, несмотря на то, что при ЧМ требуется более широкая полоса частот для одной радиостанции, чем при системе АМ, в диапазоне метровых волн ЧМ находит преимущественное распространение не только для одноканальных радиолиний, но и для многоканальных.

Освоение радиотехники еще более коротких волн, а именно дециметровых и сантиметровых, привело в практике радиосвязи к совершенно новым методам модуляции, ибо из-за нестабильности частоты в этих диапазонах оказалось, что для одной линии радиосвязи надо брать полосы частот,

гораздо большие, чем требуется для линий связи с частотной модуляцией.

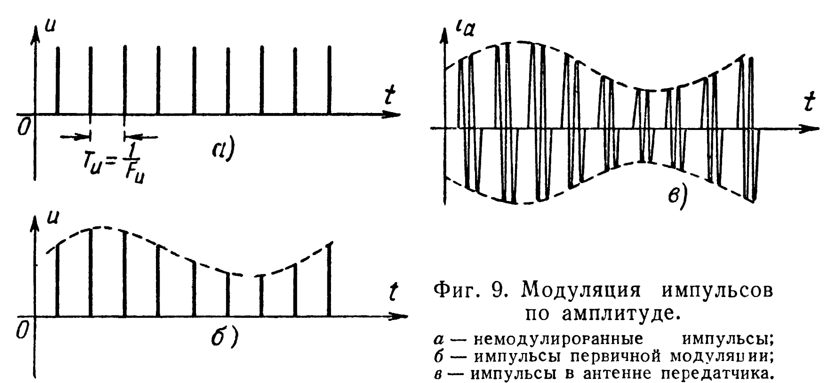
Действительно, если взять, например, волну $\lambda = 50$ *см*, то ей соответствует частота 600 *мггц*.

Если принять, как и ранее, нестабильность равной 0,05%, то уход частоты от 600 *мггц* составит $\pm$ 0,3 *мггц*. Следовательно, необходимо брать полосу пропускания приемника равной 0,6 *мггц*, т. е. в 24 раза больше, чем требуется при ЧМ и в 100 раз больше, чем при АМ.

В диапазоне дециметровых и сантиметровых волн преимущественное применение находят импульсные методы модуляции, которые требуют для одной радиолинии связи еще большей полосы частот, чем частотная модуляция, но зато обеспечивают высокую помехоустойчивость и, следовательно, не требуют большой мощности передатчика.

АМПЛИТУДНО-ИМПУЛЬСНАЯ МОДУЛЯЦИЯ И ЕЕ ОСОБЕННОСТИ

Пусть имеется генератор импульсов постоянного напряжения, следующих друг за другом с некоторой частотой F_u, которая называется обычно тактовой частотой или частотой следования (фиг. 9,*а*). Пусть амплитуда этих импульсов ме-



Фиг. 9. Модуляция импульсов по амплитуде.

а — немодулированные импульсы; *б* — импульсы первичной модуляции; *в* — импульсы в антенне передатчика.

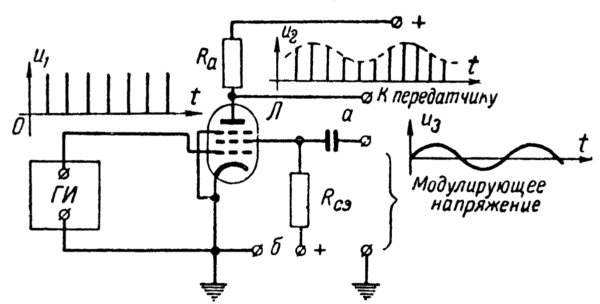
няется в соответствии с сигналами речи так, как это имело место при обычной амплитудной модуляции. В этом случае будет иметь место первичная амплитудная модуляция импульсов (фиг. 9,*б*).

Если теперь этими импульсами воздействовать на радиопередатчик, то он будет излучать высокочастотную энергию кратковременными импульсами (фиг. 9,*в*) с изменяющейся

интенсивностью. Это будет вторичная модуляция высокочастотных колебаний.

Схема, с помощью которой можно получить АИМ, приведена на фиг. 10.

Здесь *ГИ* — генератор импульсов, частота которых обычно выбирается порядка 8—10 *кгц*. Импульсы от *ГИ* подаются на управляющую сетку лампы *Л*, а на экранирующую сетку этой лампы воздействует напряжение модулирующей частоты. При соответствующем режиме лампы ее анодный ток будет иметь форму импульсов такую, как



Фиг. 10. Схема первичной модуляции импульсов по высоте.

ГИ—генератор тактовой частоты $F_{и}$ = 8÷10 *кгц*; u_1—импульсы напряжения на входе лампы *Л*; u_2— импульсы напряжения на выходе лампы *Л*; u_3— модулирующее напряжение.

показано на фиг. 9,*б*. С зажимов *а* и *б* (фиг. 10) снимается напряжение модулированных импульсов. Эти импульсы управляют высокочастотным генератором. Ток в антенне с АИМ показан на фиг. 9,*в*.

Если высокочастотные импульсы АИМ будут приняты приемником и продетектированы, то на выходе детектора будут восстановлены импульсы напряжения такие же по форме, какими осуществлялась модуляция в передатчике.

Для выделения сигналов модуляции импульсы напряжения с изменяющейся амплитудой усиливаются и пропускаются через фильтр с полосой 300—2 700 *гц*.

Исследованиями советских ученых было установлено, что частота импульсов должна быть в 2,5 ÷ 3 раза больше, чем наивысшая частота модулирующего спектра звуковых колебаний. Ранее было отмечено, что при передаче речи наивысшая частота модуляции равна 2 700 *гц*. Отсюда следует, что частота импульсов, с какой должен посылать энергию передатчик, должна быть не меньше 8 000 *гц*. Если эта

частота будет больше, то качество передачи речи только улучшится.

При передаче сигналов кратковременными импульсами требуется канал связи с очень широкой полосой частот.

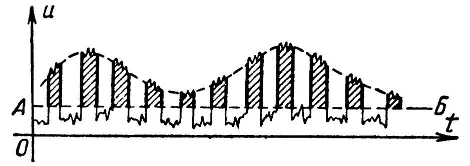
Проведенные проф. В. И. Сифоровым исследования показали, что необходимая полоса частот Δf обратно пропорциональна длительности импульса τ и выражается формулой

$$\Delta f = \frac{1,3}{\tau}.$$

Отсюда следует, что длительности импульса в 1 *мксек* будет соответствовать полоса частот, равная

$$\Delta f = 1,3 \text{ мггц}.$$

Следовательно, если применять для АИМ очень короткие импульсы порядка микросекунд, то потребуется широкая полоса пропускания частот приемником, что увеличивает воздействие помех.



Фиг. 11. Ослабление действия помех ограничением.
АБ — линия ограничения.

Исторически метод АИМ был первым, который подвергся исследованию, и оказалось, что АИМ не может считаться достаточно совершенным способом передачи речи, ибо при этом способе невозможно применение эффективного метода борьбы с помехами, а именно, нельзя применять амплитудное ограничение.

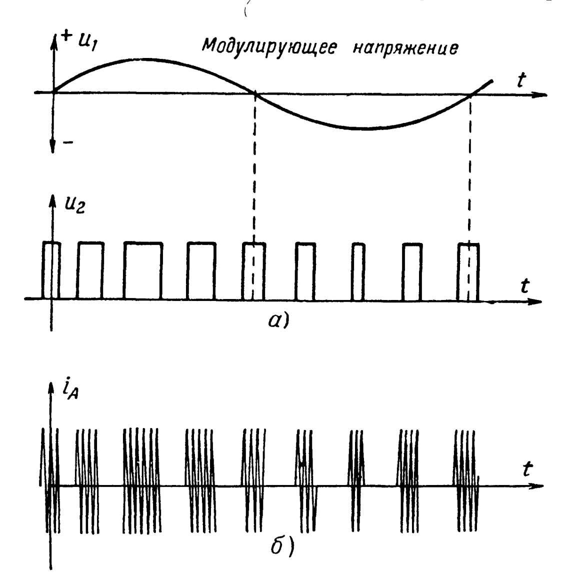
Принципиально можно несколько ослабить действие помех, применив ограничение вдоль линии *АВ* (фиг. 11). Но это только частично улучшает качество воспроизводимых сигналов, потому что помехи получаются за счет искажения верхушек импульсов. Как будет показано ниже, АИМ уступает другим методам импульсной модуляции.

ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНАЯ МОДУЛЯЦИЯ И ЕЕ ОСОБЕННОСТИ

Широтно-импульсная модуляция (ШИМ) заключается в том, что при первичной модуляции в соответствии с передаваемым сигналом изменяется в схеме специального модулятора ширина импульсов, а высота их остается неизменной. Это значит, что если первоначально импульсы имеют неко-

торую длительность τ_0, то при модуляции их длительность получает то большее, то меньшее значение, изменяясь в такт с модулирующим напряжением (фиг. 12,*а*).

Если такими импульсами управлять работой высокочастотного генератора, т. е. осуществить вторичную модуляцию, то антенна передатчика будет излучать пакеты высокочастотных колебаний, интенсивность которых на протяжении



Фиг. 12. Модуляция импульсов по ширине.
а — первичная модуляция; *б* — вторичная модуляция.

всей длительности импульсов будет неизменной (фиг. 12,*б*).

На приемной стороне после детектирования будут получены снова импульсы постоянного напряжения, подобные тем, какими осуществлялась вторичная модуляция высокочастотных колебаний.

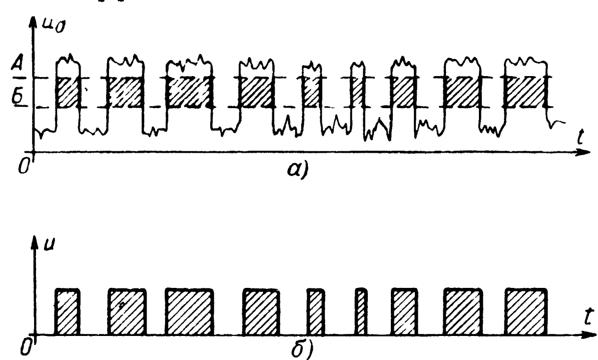
Для выделения на приемной стороне модулирующих сигналов импульсы после детектора подаются на усилитель и полосовой фильтр 300—2 700 *гц*. На выходе фильтра будут получены звуковые частоты речи. Следовательно, для приема сигналов ШИМ может быть применена точно такая же схема, как и для приема АИМ.

Как и при приеме сигналов АИМ, в случае ШИМ полоса приемника должна быть очень широкой. Однако в этом

случае можно применить метод ограничения и в значительной степени ослабить вредное действие помех.

Если из импульсов, полученных на выходе приемника и искаженных помехами, с помощью ограничителей вырезать между линиями A и B (фиг. 13) только ту часть их, которая не искажена помехами, то будут получены импульсы со значительно ослабленным действием помех.

Благодаря возможности применения ограничителей ШИМ более эффективна в отношении ослабления помех по



Фиг. 13. Ослабление действия помех ограничением.
а — импульсы ШИМ до ограничения; *б*—импульсы ШИМ после ограничения.

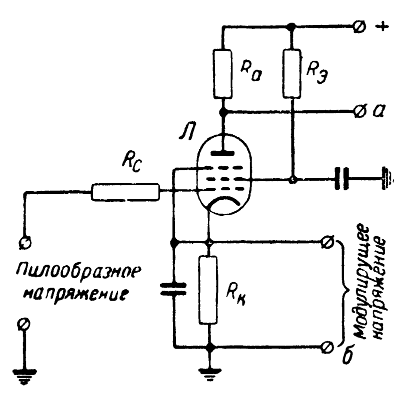
сравнению с АИМ точно так же, как обычная ЧМ по сравнению с АМ.

В системе ШИМ, как и в АИМ, частота повторения импульсов, или так называемая тактовая частота, должна превышать наивысшую частоту модуляции примерно в 2,5—3 раза. Поэтому частоту повторения выбирают равной 8 000—10 000 *гц* при ограничении спектра звуковых частот речи полосой 300—2 700 *гц*.

Принципов получения ШИМ в настоящее время известно несколько. Наиболее простой способ получения импульсов переменной длительности представлен схемой на фиг. 14.

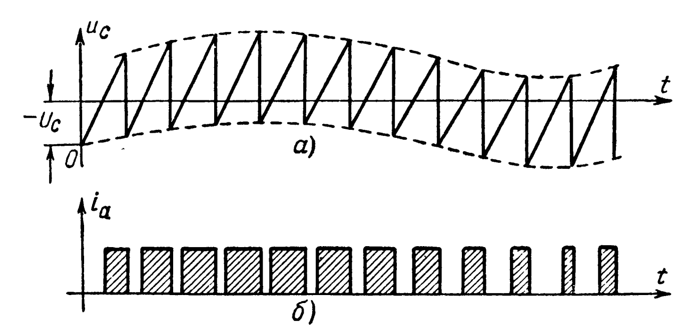
Здесь лампа *Л* (пентод) поставлена в такой режим, когда напряжением с зажимов $R_к$ она закрыта по анодному току. По сопротивлению $R_к$ проходит в этом случае только ток экранирующей сетки. На управляющую сетку подается напряжение пилообразной формы от специального генератора (частота следования 8 000—10 000 имп/сек). Подобные генераторы применяются в схемах развертки луча телевизионных трубок.

При отсутствии модуляции схема вырабатывает импульсы постоянной ширины. Модулирующее напряжение подается на сопротивление в цепи катода, т. е. на $R_к$. Благодаря этому в те моменты, когда на сетку лампы будет подаваться большее смещение за счет модулирующего напряжения, импульсы тока будут получаться меньшей длительности, а в те моменты, когда за счет модулирующего напряжения будет подаваться меньшее смещение, импульсы тока в анодной цепи будут получаться более широкими (фиг. 15).



Фиг. 14. Схема первичной модуляции импульсов по ширине.

Импульсы тока прямоугольной формы в анодной цепи в данной схеме будут получаться благодаря эффекту ограничения. Происходит это следующим образом. Когда положительное напряжение пилообразной формы, подаваемое на сетку лампы, возрастая, достигает величины, при которой в цепи появляется сеточный ток, то этот ток, проходя

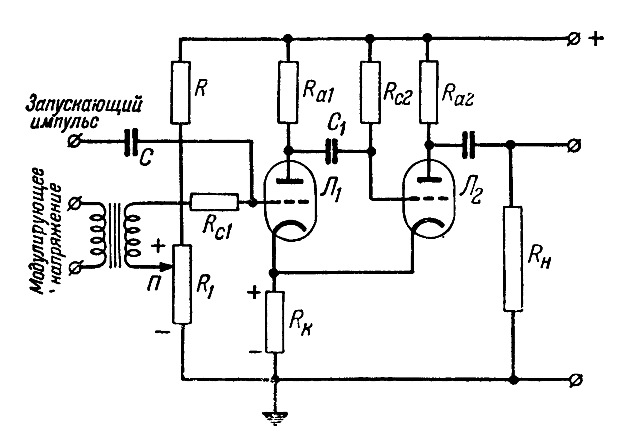


Фиг. 15. Широтно-импульсная модуляция.
А — импульсы на сетке лампы *Л*; *Б* — импульсы анодного тока лампы *Л*.

по сопротивлению R_c в цепи сетки, вызывает на этом сопротивлении падение напряжения, которое отрицательным знаком приложено к сетке. При этом потенциал сетки возрастает на некоторую величину за счет пилообразного напряжения и почти на такую же величину уменьшается за

счет напряжения на зажимах R_c. В итоге потенциал сетки, а следовательно, и величина анодного тока почти не меняются, т. е. верхушки импульсов анодного тока получаются почти плоскими. При разных величинах модулирующего напряжения ширина импульсов анодного тока получается различной.

При этих условиях лампа будет работать в режиме двустороннего ограничения импульсов в ее анодной цепи, т. е.



Фиг. 16. Схема разового мультивибратора для получения ШИМ.

импульсы вместо треугольных будут трапецоидальными. Если выбрать амплитуду импульсов треугольной формы достаточно большой, то импульсы анодного тока будут почти прямоугольными. Такую же форму будут иметь и импульсы напряжения, снимаемые с зажимов *а* и *б* схемы (фиг. 14).

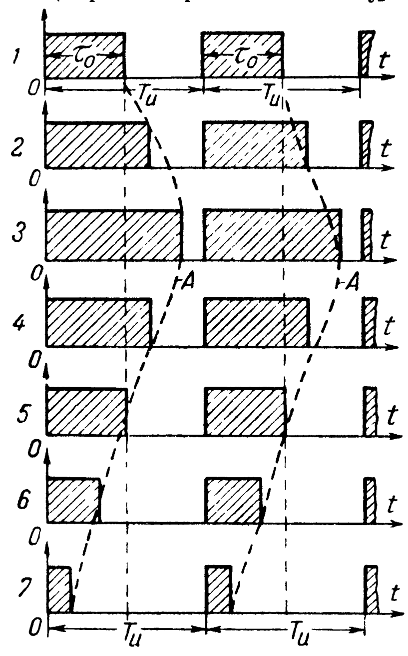
Импульсы напряжения, снимаемые с зажимов *а* и *б*, подаются на усилитель и далее управляют работой передатчика, так что передатчик посылает пакеты высокочастотных импульсов, изменяющиеся по длительности и пропорциональные длительности импульсов, полученных при первичной модуляции.

Более совершенной схемой для получения широтной модуляции импульсов является схема, представленная на фиг. 16.

Здесь лампы $Л_1$ и $Л_2$ образуют схему так называемого разового мультивибратора. При периодическом воздействии

кратковременных импульсов на сетку лампы $Л_1$ (например, от отдельного генератора) с зажимов сопротивления $R_к$ снимаются импульсы прямоугольной формы.

В спокойном состоянии за счет того, что на сетке лампы $Л_2$ (через сопротивление R_{c2}) имеется положительный потенциал, лампа $Л_2$ открыта и через нее проходит анодный ток, который на сопротивлении $R_к$ в цепи катодов ламп $Л_1$ и $Л_2$ создает напряжение, достаточное для того, чтобы при наличии некоторого положительного напряжения, снимаемого с зажимов ползунка $П$, результирующее напряжение на сетке лампы $Л_1$ было отрицательным и запирало эту лампу. При наличии кратковременного положительного импульса на сетке $Л_1$ от запускающего генератора (импульсы подаются через конденсатор C) лампа $Л_1$ мгновенно открывается, а лампа $Л_2$ так же мгновенно закрывается. При этом анодный ток лампы $Л_2$ становится равным нулю, напряжение смещения, которое было на зажимах $R_к$, снимается, и лампа $Л_1$ остается некоторое время открытой. Через некоторый промежуток времени так же мгновенно лампа $Л_1$ закрывается, а лампа $Л_2$ открывается, и схема снова приходит в первоначальное состояние. При поступлении следующего импульса весь процесс повторяется снова.



Фиг. 17. Первичная модуляция импульсов по ширине.

1, 2, 3, 4 и т. д.—периоды тактовой частоты; *A* — кривая модулирующего напряжения.

Можно подобрать такой режим, чтобы схема вырабатывала импульсы, длительность которых равнялась бы паузам между ними. Если с помощью трансформатора $Тр$ на сетку лампы $Л_1$ подавать переменное напряжение модулирующей частоты, в несколько раз меньшее по частоте, чем частота следования управляющих импульсов, то длительность им-

пульсов, вырабатываемых схемой, будет меняться в соответствии с частотой модуляции (фиг. 17).

Если частоту чередования импульсов, запускающих схему, взять равной 8—10 *кгц*, то в качестве модулирующего напряжения может быть использован спектр звуковых частот от 300 до 2 700 *гц*.

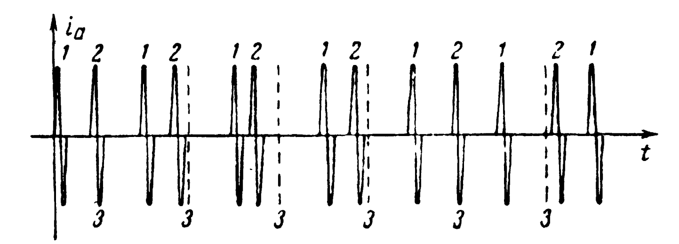
Особенностью схемы является и то, что она дает неискаженную модуляцию длительности импульсов, а это обеспечивает правильность передаваемых сообщений.

Недостатком системы радиосвязи с ШИМ является непрерывное изменение энергии, излучаемой передатчиком при модуляции, которая достигает минимального значения, когда импульс самый короткий, и максимального — когда он самый широкий. Средняя мощность при таком способе модуляции остается неизменной.

В силу этого ШИМ оказывается, с энергетической точки зрения, неэкономичной и уступает другому, более совершенному способу, допускающему большие импульсные мощности при малых средних мощностях. Таким способом является фазо-импульсная модуляция.

ФАЗО-ИМПУЛЬСНАЯ МОДУЛЯЦИЯ

Фазо-импульсная модуляция (ФИМ), иногда называемая также и временной импульсной модуляцией, отличается от ШИМ тем, что передатчик за каждый период излучает



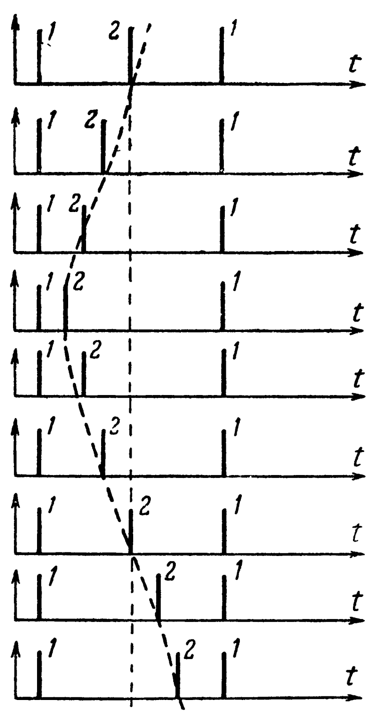
Фиг. 18. Фазо-импульсная модуляция.

1 — синхронизирующие импульсы; *2* — рабочие импульсы; *3*—фиксированные моменты времени, относительно которых смещаются рабочие импульсы *2*.

энергию в виде двух кратковременных импульсов (фиг. 18), причем положение одного импульса остается в фиксированном месте периода следования импульсов, а положение другого изменяется при модуляции в пределах этого периода. При этом методе амплитуда колебаний высокой частоты за время импульсов остается неизменной, сама длительность

импульсов также остается неизменной, а, как показано на фиг. 18, меняется только взаимное положение импульсов.

В рассматриваемом случае импульсы *1* называются синхронизирующими, а импульсы *2* — рабочими. Как и в случаях АИМ и ШИМ, такой режим передатчика может быть получен с помощью последовательности импульсов постоянного напряжения, первичная модуляция которых осуществляется с помощью специального модулятора. Если модуляция положения рабочего импульса осуществляется одним, например синусоидальным, напряжением (фиг. 19), то в течение периода модулирующего напряжения за каждый период тактовой частоты интервал между импульсами *1* и *2* сначала будет уменьшаться и достигнет минимального значения, затем начнет увеличиваться и достигнет максимального значения, а затем в конце периода синусоиды модулирующего напряжения снова станет равным половине периода.

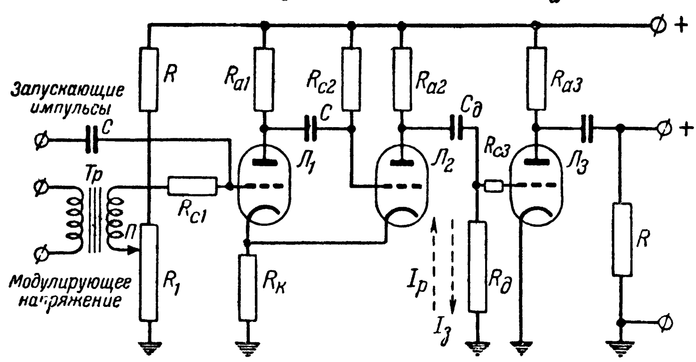


Фиг. 19. Первичная модуляция импульсов по фазе.

Рассмотрим одну из схем получения ФИМ, представленную на фиг. 20. Эта схема была уже нами рассмотрена ранее (фиг. 16). Отличие ее заключается в том, что к выходному сопротивлению R_∂ подключается еще одна лампа $Л_3$, которая работает как усилитель напряжений, снимаемых с зажимов R_∂, а емкость C_∂ и R_∂ подобраны так по величине, что вместо широких импульсов напряжения на зажимах R_∂ получаются остроконечные импульсы различной полярности.

Цепочка из C_∂ и R_∂ в данном случае называется дифференцирующей или обостряющей и работает следующим образом. Когда лампа $Л_2$ закрыта напряжением смещения, анодный ток через лампу отсутствует, и конденсатор C_∂

заряжен до напряжения U_a. Когда же лампа $Л_2$ открывается, то конденсатор $C_д$, благодаря тому, что его емкость обычно выбирается малой, быстро разряжается через лампу $Л_2$ и сопротивление $R_д$. Разрядный ток, проходя по сопротивлению $R_д$, создает на нем импульсы напряжения с минусом на сетке следующей лампы. Лампа $Л_3$ открыта, и отрицательный импульс запирает ее. При этом в анодной цепи лампы ток прекратится, и потенциал анода скачкообразно подымется до напряжения источника U_a. С зажимов R

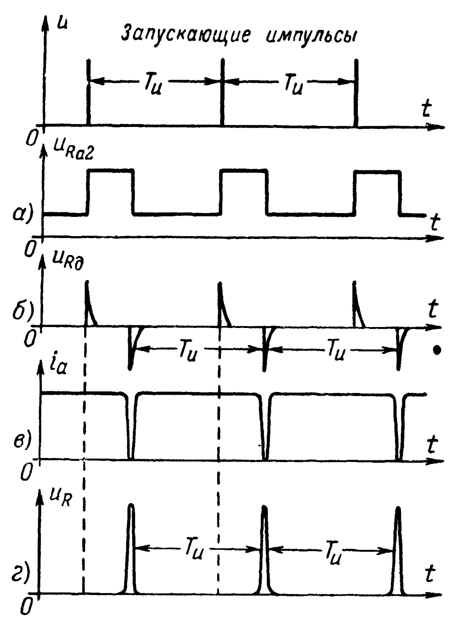


Фиг. 20. Схема первичной модуляции импульсов.

будет снят положительный импульс. Через некоторое время, когда лампа $Л_2$ закроется, это вызовет заряд конденсатора $C_д$, и по сопротивлению $R_д$ потечет импульс зарядного тока. В этом случае полярность напряжения на зажимах $R_д$ будет иная, и у зажима, присоединенного к сетке $Л_3$, окажется положительный потенциал. Благодаря сопротивлению R_{c3} лампа $Л_3$ не получит большого положительного приращения на сетке, ибо за счет сеточного тока потенциал сетки и анодный ток практически останутся неизменными. В итоге вместо импульсов ШИМ с зажимов R будут сняты кратковременные импульсы, соответствующие задним фронтам импульсов ШИМ.

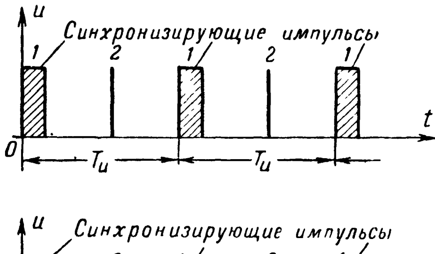
При подаче модулирующего напряжения в схему, т. е. на зажимы *Тр*, на анодном сопротивлении R_{a2} будут изменяющиеся по длительности импульсы напряжения (фиг. 21,*а*). На зажимах $R_д$ в результате дифференцирования будут импульсы напряжения разной полярности (фиг. 21,*б*). В анодной цепи $Л_3$ создадутся кратковременные

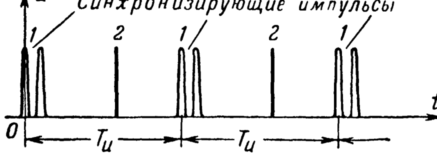
перерывы тока (фиг. 21,*в*), а на зажимах *R*—импульсы напряжения (фиг. 21,*г*), положение которых при модуляции меняется в пределах периода тактовой частоты импульсов. Эти импульсы после усиления подаются на передатчик для управления работой генератора высоких частот.



Фиг. 21. Преобразование ШИМ в ФИМ.

С помощью данной схемы получаются рабочие импульсы, положение которых меняется в пределах периода следования. Импульсы, фиксирующие начало периода следования (т. е. синхронизирующие импульсы), непосредственно от генератора запускающих импульсов подаются на передатчик. Таким образом, передатчик один раз запускается синхронизирующим импульсом, непосредственно полученным от генератора, дающего тактовую частоту импульсов, а второй раз—импульсом, полученным от схемы модулятора ФИМ.



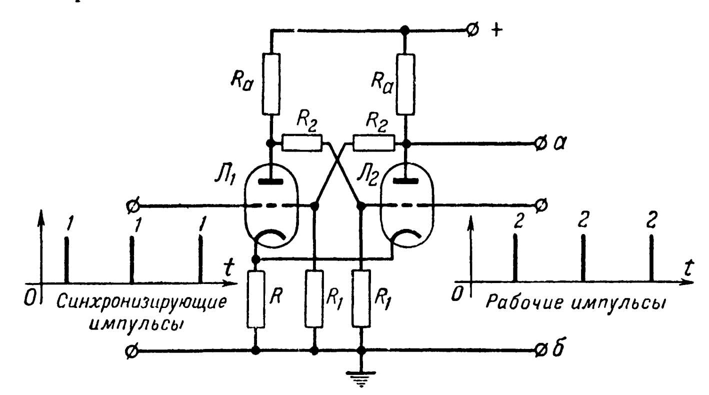


Фиг. 22. Синхронизирующие импульсы.

Поскольку при ФИМ, помимо импульсов, положение которых меняется при модуляции, излучаются еще так называемые синхронизирующие импульсы, то для того чтобы можно было отличить их от рабочих импульсов, они делаются либо более длительными, либо двойными (фиг. 22).

Прием сигналов ФИМ производится обычными приемниками, как и АИМ и ШИМ, но выделение полезных частот модуляции после детектирования высокочастотных колебаний в данном случае осуществляется сложнее, чем в первых двух случаях.

Дело в том, что если применить такой метод выделения полезных сигналов, как и в АИМ и ШИМ, то будет выделен полезный сигнал, но он будет очень слабым и очень сильно искажен. Объясняется это тем, что при неизменных длительностях импульсов и высоте и при модуляции положения импульса средний ток почти не изменяется.



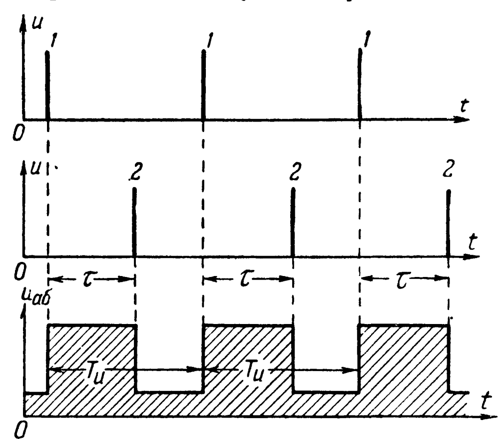
Фиг. 23. Схема преобразования ФИМ в ШИМ.

Для выделения полезных сигналов оказывается более целесообразным при этом способе связи преобразовать ФИМ либо в ШИМ, либо в АИМ и уже из них выделять, как обычно, с помощью фильтров полезные сигналы модуляции.

Схема, с помощью которой возможно подобное преобразование ФИМ в ШИМ, приведена на фиг. 23.

На приемной стороне с помощью специальных устройств разделяются импульсы синхронизации и рабочие импульсы. Затем эти импульсы подводятся к сеткам ламп $Л_1$ и $Л_2$, причем к одной лампе подводятся только импульсы синхронизации, а к другой — только рабочие импульсы. Схема, приведенная на фиг. 23, называется курковой и обладает той замечательной особенностью, что при периодическом воздействии импульсов на сетки лампы $Л_1$ и $Л_2$ они поочередно открываются и закрываются. Например, пусть в какой-то момент времени лампа $Л_1$ была открыта, а лампа

$Л_2$ — закрыта. При поступлении положительного импульса на закрытую лампу $Л_2$ она открывается, но зато в тот же момент закрывается лампа $Л_1$. При поступлении положительного импульса на сетку лампы $Л_1$ она открывается, и автоматически благодаря схеме соединений закрывается лампа $Л_1$. В результате с зажимов сопротивления R_a любой из ламп снимаются широкие импульсы (фиг. 24), длительность которых соответствует интервалам между импуль-



Фиг. 24. Напряжение, снимаемое с курковой схемы при преобразовании ФИМ в ШИМ.

сами *1* и *2*. Таким образом, ФИМ в данном случае преобразовывается в ШИМ.

Для выделения полезных сигналов модуляции напряжение с зажимов *а* и *б* подается на усилитель и затем на полосовой фильтр пропускающей частоты 300—2 700 *гц*, т. е. так, как при приеме сигналов АИМ и ШИМ.

Благодаря тому, что система радиосвязи осуществляется кратковременными импульсами длительностью 0,7 — 1,0 *мксек*, у приемника должна быть очень широкая полоса пропускания. Например, если $\tau_u = 1$ *мксек*, то полоса пропускания должна быть

$$\Delta f = \frac{1{,}3}{\tau} = 1{,}3 \text{ мггц}.$$

В этих условиях вредное действие помех, как мы уже видели, будет сказываться в том, что они будут заполнять интервалы между импульсами и искажать их верхушки. Благодаря тому, что курковая схема может быть отрегули-

рована так, чтобы она срабатывала только после того, когда импульсы превышают уровень помех, оказывается возможным значительно ослабить вредное действие помех.

Казалось бы, на первый взгляд, что помехи совершенно не должны сказываться при такой системе радиосвязи. Однако в действительности импульсы синхронизации и рабочие импульсы имеют хотя и очень крутой передний фронт, но не строго вертикальный, особенно после того, когда импульсы пройдут через систему контуров приемников. В этих случаях они из прямоугольных превращаются в колоколообразные. При такой форме импульсов действие помех сказывается в том, что импульсы даже при отсутствии полезной модуляции незначительно, но непрерывно перемещаются в пределах периода, т. е. имеет место вредная модуляция положения импульсов за счет действия помех.

Однако вредное действие помех при таком способе модуляции в сотни раз меньше того вредного действия, какое было бы, если бы радиолиния работала с амплитудной модуляцией.

Если сравнивать АМ, ЧМ, АИМ, ШИМ и ФИМ, то по всем показателям ФИМ является наиболее совершенной из всех систем.

Наряду с тем, что ФИМ позволяет вести передачу радиотелефонных сигналов с высокой эффективностью как в энергетическом отношении, так и в отношении ослабления вредного действия помех, этот метод замечателен еще и тем, что с ним можно очень легко осуществить многоканальную передачу.

Достигается это тем, что временной интервал между синхронизирующими импульсами заполняется не одним, а несколькими рабочими импульсами, каждый из которых меняет свое положение в процессе модуляции в небольшом интервале временного промежутка. Подробно об этом будет сообщено в гл. 3.

КОДОВАЯ ИМПУЛЬСНАЯ МОДУЛЯЦИЯ

Изучение особенностей работы радиолиний УКВ с импульсной модуляцией показало, что при больших расстояниях между пунктами связи, когда устанавливается большое число радиорелейных станций, помехи получаются на каждой промежуточной станции. Эти помехи создают искажения, которые от одной станции к другой добавляются, и

чем больше число промежуточных станций, тем бо́льшие искажения сигналов наблюдаются в конечном пункте приема. Такими недостатками обладают все системы импульсной модуляции, рассмотренные выше, ибо они не освобождают от «накопления» помех.

Проблема радиосвязи без накопления помех решена путем применения так называемой импульсно-кодовой модуляции.

Идея этого метода заключается в том, что передаваемый сигнал преобразовывается в импульсы, число которых зависит от величины модулирующего напряжения.

С целью уменьшения числа импульсов, передающих напряжение полезного сигнала, выбран метод, при котором в зависимости от того, какое значение имеет модулирующее напряжение, импульсы группируются определенным порядком, называемым кодом.

В данном случае применяется код, по которому, например, из 5 импульсов можно группами импульсов передать 31 значение, а именно: значению 1 соответствует импульс 1, значению 2 — импульс 2, значению 3 — импульсы 1 и 2, значению 4—импульс 4, значению 5—импульсы 1 и 4, значению 6 — импульсы 4 и 2, значению 7 — импульсы 4, 2 и 1, значению 8 — импульс 8, значению 9 — импульсы 8 и 1 и т. д.

Таким образом, из группы в пять импульсов комбинацией их может быть образована «цена» группы в пределах от 0 до 31. Можно, следовательно, максимальное значение модулирующего напряжения разбить на 31 единичный уровень и каждому уровню установить согласно принятому коду его кодовую комбинацию [1].

Импульсы кодовой группы в зависимости от «цены» импульса можно расположить по отношению к другим импульсам в определенном порядке, например так, как показано на фиг. 25. Тогда в зависимости от наличия того или иного импульса «цена» группы импульсов будет различной.

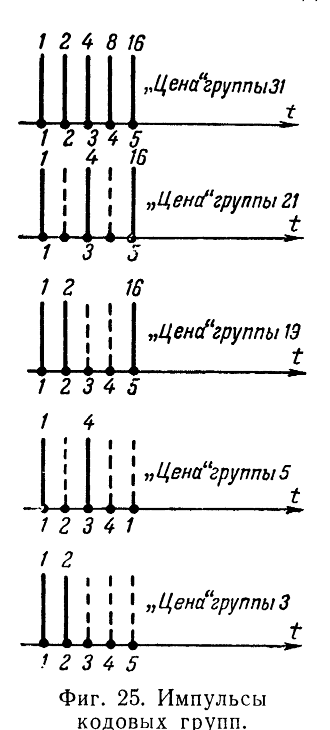
Пусть, например, модулирующее напряжение в какой-то момент времени изображается участком кривой, как показано на фиг. 26. В моменты t_1 и t_2 оно имеет часть максимальной величины, оцениваемой значениями 15 и 19 единиц при условии, что максимальное значение оценивается 31 единицами. Тогда эти значения в моменты t_1 и t_2 могут

---

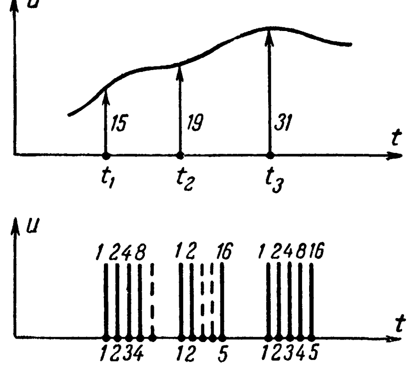
[1] В реальных установках применяются группы до 7 импульсов, и „цена“ группы может меняться от 0 до 127.

быть переданы кодовыми группами, а именно: в момент t_1 должна быть послана группа импульсов, соответствующая значению 15, т. е. импульсы с «ценой» 1, 2, 4 и 8, а в момент t_2, когда значение модулирующего напряжения оценивается величиной 19 единиц, должна быть послана группа, обозначающая число 19 из импульсов с «ценой» 16, 1 и 2. Пояснение принципа преобразования синусоидального напряжения в кодовые импульсы представлено на фиг. 27.

Устройство, где модулирующее напряжение преобразуется в кодовые группы импульсов, будет создавать в данном случае первичную модуляцию импульсов. Если кодовыми группами воздействовать на передатчик высокочастотных колебаний, то при этом будет иметь место вторичная модуляция. В этом и заключается основная особенность кодовой импульсной модуляции (сокращенно КИМ).



Фиг. 25. Импульсы кодовых групп.

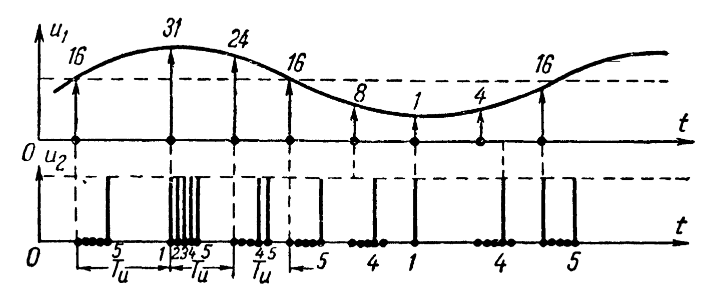


Фиг. 26. Кодово-импульсная модуляция.

Как и в системах АИМ, ШИМ, ФИМ, тактовая частота посылки кодовых групп должна быть в несколько раз большей, чем наивысшая частота модуляции. Если принять, что спектр звуковых частот речи ограничен фильтрами в диапазоне 300—2 700 *гц*, то для кодовой импульсной модуляции тактовая частота импульсов может быть порядка 8 000—10 000 *гц*. При этих условиях импульсы должны иметь дли-

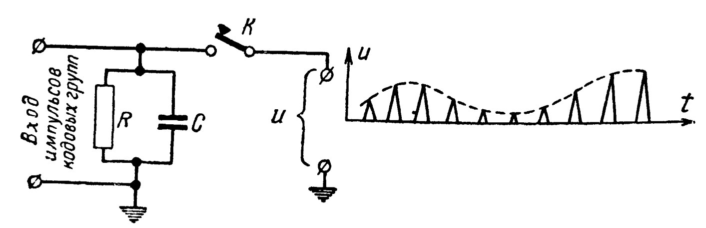
тельность порядка микросекунд, а сама радиопередача подобными импульсами наиболее целесообразна в диапазоне дециметровых и сантиметровых волн.

Для приема сигналов кодовой импульсной модуляции может быть применен обычный приемник, на выходе кото-



Фиг. 27. Преобразование синусоидального напряжения при первичной модуляции в импульсные группы.

рого должно быть специальное устройство, преобразующее получаемые приемником кодовые группы в имульсы, величина которых пропорциональна значению «цены» кодовой группы. Импульсы напряжения кодовых групп, полученные после детекторного каскада приемника, подаются к специальной схеме преобразования (дешифратора), состоящей

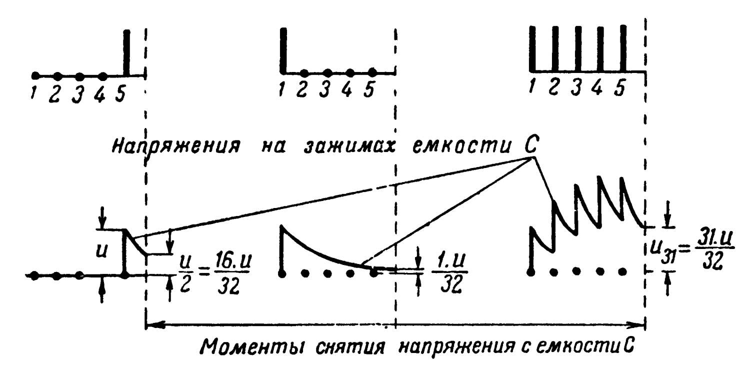


Фиг. 28. Схема преобразования импульсов КИМ в АИМ.
RC — преобразователь импульсов кодовых групп в напряжение, пропорциональное „цене" кодовой группы; *K*—электронный переключатель; *u*—импульсы АИМ.

из параллельно соединенных сопротивления и емкости (фиг. 28). Конденсатор *C* под действием импульсов кодовых групп заряжается, а за время между импульсами и кодовыми группами — разряжается на сопротивление *R*.

Каждый из импульсов кодовой группы заряжает конденсатор *C* до некоторого напряжения *u*. Величины емкости *C* и сопротивления *R* подбираются такими, чтобы за

время между каждыми рядом находящимися импульсами конденсатор успевал разрядиться до напряжения $u/2$. В этом случае с момента прихода кодовой группы конденсатор C, заряжаясь и разряжаясь, будет иметь на зажимах к концу временного интервала, отведенного на кодовую группу, напряжение, пропорциональное «цене» кодовой группы. Например, когда кодирование осуществляется комбинацией из пяти импульсов и к схеме RC придет импульс с «ценой» 16, то конденсатор после заряда до некоторого напряже-



Фиг. 29. Схема преобразования импульсов КИМ в АИМ.

ния к концу интервала кодовой группы разрядится до напряжения $u_{16} = \frac{16u}{32}$. Если придет импульс с «ценой» 1, то после заряда конденсатора до напряжения u к концу интервала кодовой группы конденсатор разрядится до напряжения $u_1 = \frac{1u}{32}$. Если к схеме дешифратора будут поданы все пять импульсов с «ценой» 31, то после заряда конденсатора и последующего разряда его через сопротивление R напряжение на зажимах емкости уменьшится до величины $u_{31} = \frac{31u}{32}$.

Таким образом, к концу интервала времени, равного длительности кодовой группы, на конденсаторе всегда будет напряжение, пропорциональное «цене» кодовой группы (фиг. 29).

Напряжение с конденсатора снимается в виде импульсов с помощью электронной схемы в моменты времени, когда оно пропорционально «цене» кодовой группы.

Таким образом, кодовая импульсная модуляция преобразовывается на выходе дешифратора в амплитудно-импульсную модуляцию. Полученная последовательность импульсов пропускается через полосовой фильтр, на выходе которого получается полезный сигнал.

В связи с тем, что при передаче подобных групп импульсов по радиолинии связи искажения передаваемых сигналов могут быть только в том случае, когда часть импульсов будет пропадать или будут получаться лишние импульсы (а это мало вероятно), такой метод модуляции оказывается весьма помехоустойчивым.

В настоящее время имеются еще затруднения с созданием простых схем модуляторов кодовой импульсной модуляции для передающих устройств, в силу чего этот вид модуляции пока не нашел широкого распространения.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ПРИНЦИПЫ МНОГОКАНАЛЬНОЙ ПЕРЕДАЧИ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О КАНАЛАХ СВЯЗИ

Что такое многоканальная радиосвязь? Это передача нескольких независимых сообщений по общей радиолинии связи. При многоканальной радиосвязи на каждую пару корреспондентов отводится один канал; при этом каналом называется совокупность всех устройств, обеспечивающих передачу сигналов от одного конечного пункта до другого. В зависимости от назначения связи различают каналы телефонные, телеграфные, телевизионные и т. п.

Совершенно очевидно, что при необходимости иметь между двумя пунктами несколько каналов связи невыгодно строить число приемных и передающих станций по числу необходимых каналов.

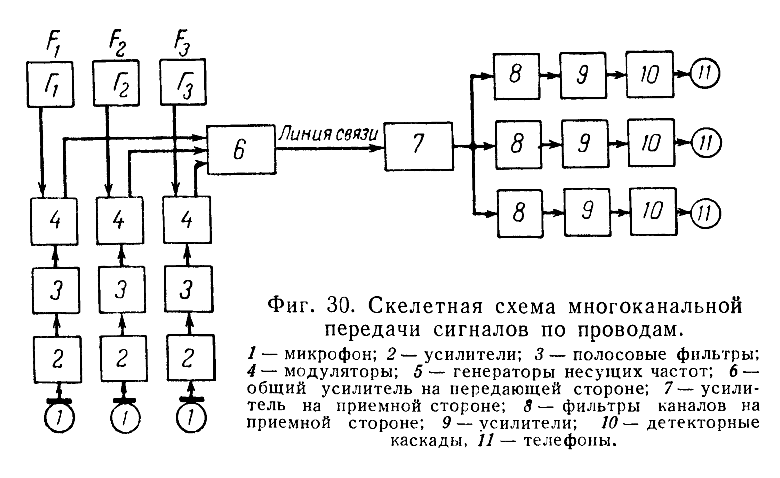
Поэтому возникла проблема такой работы радиостанций, когда на одной несущей частоте передатчика можно осуществить одновременно без взаимных помех несколько каналов связи.

Следует отметить, что подобная проблема возникла впервые в технике проводной связи для более эффективного использования проводов, прокладываемых между двумя пунктами, с тем чтобы по одной паре проводов вести несколько переговоров или несколько телеграфных передач.

Так как радиотехника частично позаимствовала принципы осуществления многоканальной передачи из области техники проводной связи, целесообразно будет рассмотреть принципы многоканальной связи по проводам.

МЕТОД МНОГОКАНАЛЬНОЙ ПЕРЕДАЧИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЧАСТОТНОЙ СЕЛЕКЦИИ СИГНАЛОВ

Метод многоканальной передачи телефонных разговоров по одной проводной линии связи основан на возможности выделять из широкого спектра частот некоторую более узкую полосу частот с помощью полосовых электрических фильтров. Такой способ выделения сигналов называется частотной селекцией. Принципиальная скелетная схема, поясняющая этот метод, приведена на фиг. 30. Напряжение от каждого микрофона *1* усиливается в усилителе *2* и подается на полосовой фильтр *3*, после которого к модуляторам *4* в каждом канале подается спектр частот от 300 до 2 700 *гц*. К модуляторам от генераторов *5* подаются также напряжения частот F_1, F_2 и F_3. Эти частоты, промодулированные по амплитуде, подаются затем на общий усилитель *6* и далее в проводную линию связи. Таким образом, по проводной линии связи посылается полоса частот тем бо́льшая, чем больше число каналов. Если для каждого канала спектр частот речи ограничен частотами 300 ÷ 2 700 *гц* и первая несущая частота F_1 выбрана равной 10 000 *гц*, то один канал телефонной связи займет полосу



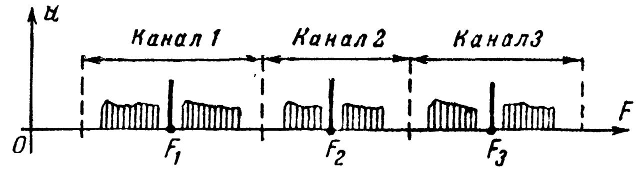
Фиг. 30. Скелетная схема многоканальной передачи сигналов по проводам.

1 — микрофон; *2* — усилители; *3* — полосовые фильтры; *4* — модуляторы; *5* — генераторы несущих частот; *6* — общий усилитель на передающей стороне; *7* — усилитель на приемной стороне; *8* — фильтры каналов на приемной стороне; *9* — усилители; *10* — детекторные каскады, *11* — телефоны.

частот от $F_1' = F_1 - 2\,700 = 10\,000 - 2\,700 = 7\,300$ *гц* до $F_2' = F_1 + 2\,700 = 10\,000 + 2\,700 = 12\,700$ *гц*.

Если взять для второго канала несущую частоту, отличную от первой несущей на 6 000 *гц*, т. е. 16 000 *гц*, то тогда второй канал займет полосу частот от $F_1'' = F_2 - 2\,700 = 16\,000 - 2\,700 = 13\,300$ *гц* до $F_2'' = F_2 + 2\,700 = 16\,000 + 2\,700 = 18\,700$ *гц*.

Руководствуясь этим правилом, можно брать для каждого канала связи по проводам несущую частоту, отличную на 6 000 *гц*, и таким путем получить нужное число каналов.



Фиг. 31. Спектр частот для трехканальной передачи.

Общая полоса частот, используемых для передачи, например, 3 каналов связи, будет равной $3 \cdot 6\,000 = 18\,000$ *гц*.

Спектр частот, поступающих в линию при таком способе осуществления трехканальной передачи, иллюстрируется фиг. 31.

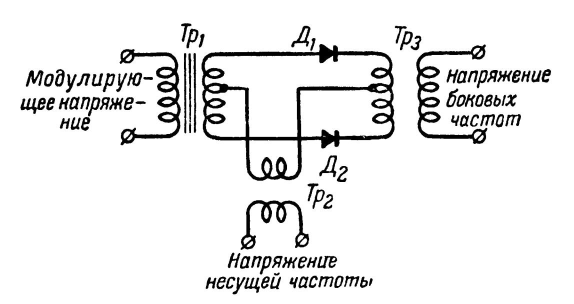
На приемной стороне (фиг. 30) после общего усилителя *7* устанавливаются полосовые электрические фильтры *8* с полосой пропускания для каждого 5 400 *гц*. На выходе фильтров (которые разделяют частоты различных каналов) устанавливаются усилители *9*, после которых колебания с несущими частотами F_1, F_2 и F_3 детектируются, а с выхода детектора *10* каждого канала снимается спектр звуковых частот и подается к телефонам.

Стремление образовать большее число каналов привело к созданию других принципов многоканальной передачи по проводам. Было установлено, что нет необходимости передавать обе боковые полосы частот, появляющиеся при модуляции, и можно обойтись только одной какой-либо полосой боковых частот — верхней или нижней. Подобный способ передачи получил название телефонии на одной боковой полосе и в настоящее время нашел преимущественное применение в технике дальней связи.

Идея, лежащая в основе системы многоканальной передачи с использованием одной боковой полосы, основана на

том, что из двух боковых полос частот, получающихся при амплитудной модуляции несущей частоты, можно с помощью электрических фильтров выделить только одну боковую полосу частот и только эти частоты посылать по линии связи. Несущие частоты каждого канала при этом не посылаются.

На приемной стороне несущие частоты для каждого канала получаются от местных генераторов и вместе с пришедшими по линии связи полосами боковых частот подводятся к детекторным каскадам. Как и при обычной систе-



Фиг. 32. Схема балансного модулятора.

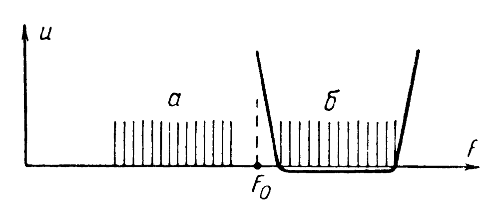
ме, когда посылаются обе боковые полосы частот и несущая частота, на выходе детекторов получаются колебания звуковых частот, являющиеся продуктами разговорной речи.

Если считать, что полосовые фильтры выделяют только боковые полосы частот, например нижние боковые полосы частот, то каждому каналу потребуется вдвое меньшая полоса, а именно от $F - 300$ до $F - 2\,700$ *гц*. Следовательно, принципиально в том же диапазоне частот предыдущего примера можно будет разместить вдвое большее число каналов. Если считать, что на один канал необходима полоса частот 3 000 *гц*, то в полосе частот 18 000 *гц* можно будет иметь 6 телефонных каналов вместо 3. Это является большим преимуществом систем связи на одной боковой полосе.

Возможность телефонной связи на одной боковой полосе частот привела к созданию специальных схем модуляторов, которые позволяют сразу на выходе схемы получать только боковые частоты, получающиеся при модуляции без несущей частоты. Простейшая схема так называемого **балансного** модулятора приведена на фиг. 32. Здесь к трансформатору $Тр_1$ подводится напряжение звуковых колебаний, а к трансформатору $Тр_2$ напряжение несущей

частоты. $Д_1$ и $Д_2$ — нелинейные элементы (ламповые диоды или полупроводниковые выпрямители).

В такой схеме при отсутствии напряжения модулирующих частот на зажимах вторичной обмотки трансформатора $Тр_3$ напряжение несущей частоты отсутствует, а при модуляции появляется только напряжение боковых частот. Так как несущая частота отсутствует на выходе схемы, то с помощью полосового фильтра облегчаются условия выделения одной боковой полосы частот (фиг. 33).



Фиг. 33. Выделение фильтром одной боковой полосы частот.

а — нижняя полоса боковых частот; *б* — верхняя полоса боковых частот; F_0 — несущая частота.

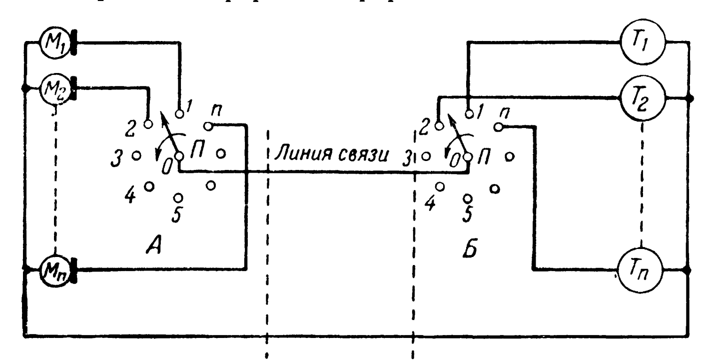
Принцип частотной селекции сигналов для многоканальной радиотелефонной связи отличается от схемы фиг. 30 тем, что спектр частот после модуляторов *4* подается на модулятор передатчика и частоты F_1, F_2 и F_3, которые в проводах линии связи служили несущими частотами, являются при передаче по радио «поднесущими частотами», т. е. при этом радиолиния заменяет проводную линию связи. Вполне естественно, что для увеличения числа каналов в этом случае также целесообразно пользоваться системой передачи только боковых частот, получаемых при первичной модуляции. Подобная система многоканальной передачи будет рассмотрена в гл. 4.

Общим недостатком многоканальной связи с частотной селекцией являются сложность и дороговизна фильтров, а также то, что в случае, когда между пунктами связи устанавливаются промежуточные станции, за счет нелинейности характеристик ламп усилителей возможно возникновение помех одних каналов другим, так называемых переходных помех, с которыми трудно бороться на линиях связи большой протяженности.

МЕТОД МНОГОКАНАЛЬНОЙ ПЕРЕДАЧИ С ВРЕМЕННОЙ СЕЛЕКЦИЕЙ СИГНАЛОВ

Метод многоканальной передачи с временной селекцией сигналов, до того как он начал применяться для радиотелефонии, давно и широко применяется в технике телеграфии.

Идея этого метода применительно к телефонии основывается на том, что если между двумя пунктами $А$ и $Б$ имеется линия связи и эта линия связи на одном конце с помощью переключателя (коммутатора) будет подключаться к различным микрофонам M_1, M_2, ..., M_n (фиг. 34), а с другого конца линия в таком же порядке и с такой же скоростью, т. е. синхронно и синфазно, будет попеременно подключаться к телефонным аппаратам T_1, T_2, ..., T_n, то при скорости вращения коммутаторов больше 8 000 об/сек не слышно, что цепи телефонов непрерывно прерываются.



Фиг. 34. Скелетная схема многоканальной передачи с временной селекцией сигналов.
П — синхронные переключатели.

Если, например, каким-либо микрофоном будет передаваться разговорная речь, которая в некоторый интервал времени характеризуется для микрофона M_1 кривой $А$ и для микрофона M_2 кривой $Б$ (фиг. 35,*а*), то при быстрых переключениях на телефоны будут поступать импульсы, огибающие которых будут следовать за кривой $А$ и кривой $Б$ (фиг. 35,*б*).

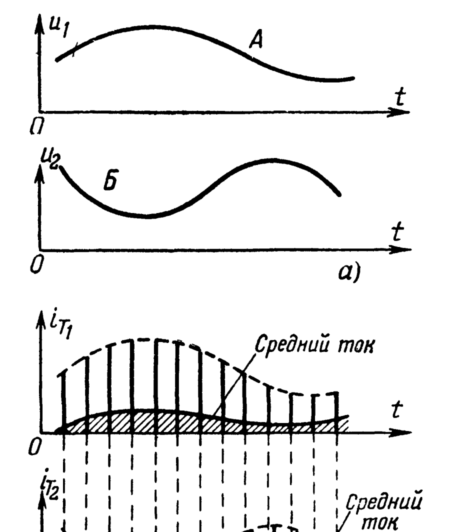
Если такие импульсы, соответствующие одному каналу, пропустить через фильтр с полосой пропускания $0 \div 2\,700$ *гц*, то получится снова некоторый средний ток с огибающей, соответствующей току в цепи микрофона.

Такой способ многократного использования одной линии связи, когда за один оборот коммутатора в определенные промежутки времени передаются по линии сообщения только от микрофона M_1, а другие — только от микрофона M_2 и т. д., называется многоканальной передачей с временной селекцией сигналов.

Основная задача при таком методе многоканальной пе-

редачи состоит в том, чтобы коммутаторы обладали способностью производить быстрое переключение при синхронном и синфазном движениях.

В технике телеграфной связи получение нескольких каналов возможно с помощью механических коммутаторов, поскольку там скорости вращения коммутаторов невелики (порядка 3—4 в секунду). В технике телефонии скорости должны быть порядка 8 000—10 000 переключений в секунду. Такие скорости переключений с помощью механических коммутаторов получить невозможно. Поэтому принцип хотя и был известен давно, но нашел практическое применение только в последние годы благодаря развитию электроники, позволяющей создать коммутаторы, в которых роль переключателя играет поток электронов.



Фиг. 35. Импульсы токов в телефонах при работе коммутаторов.

Более детальное описание подобных коммутаторов будет сделано позднее. Здесь же следует только отметить, что метод многоканальной передачи с временной селекцией сигналов позволил создать системы многоканальных радиолиний, более дешевых и совершенных, чем радиолинии с частотной селекцией, поскольку здесь, как это будет видно далее, значительно упрощается система выделения разговорных частот по различным каналам.

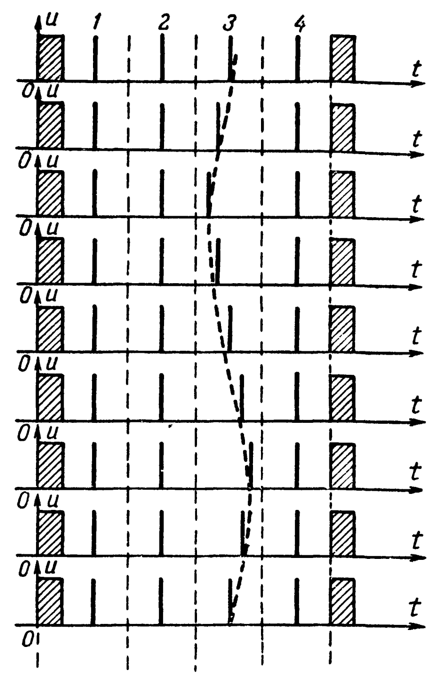
Если импульсы, снимаемые с ползунка коммутатора на передающей стороне, подавать на передатчик для модуляции высокочастотной несущей, то получим многоканальную передачу с амплитудной модуляцией импульсов (АИМ).

При многоканальной радиосвязи с использованием временной селекции сигналов возможно применение всех видов импульсной модуляции (АИМ, ШИМ, ФИМ или КИМ).

Идея получения многоканальной радиолинии связи с помощью временной селекции и фазо-импульсной модуляции может быть иллюстрирована фиг. 36. Здесь представлены диаграммы, иллюстрирующие временное положение импульсов при модуляции одного из импульсов четырехканальной системы.

На фиг. 36 показаны один под другим несколько периодов тактовой частоты. Каждый период разделен на четыре временных интервала. Начало периода для всех этих каналов фиксируется более длительным импульсом, который называется синхронизирующим и является общим для всех каналов.

В каждом временном интервале располагаются импульсы отдельных каналов, которые при модуляции могут перемещаться в пределах временного интервала, отведенного для каждого канала. На той же фигуре показан процесс модуляции синусоидальным напряжением положения импульса третьего канала. Аналогично модулируются и импульсы остальных каналов.



Фиг. 36. Принцип многоканальной передачи с временной селекцией при первичной ФИМ.

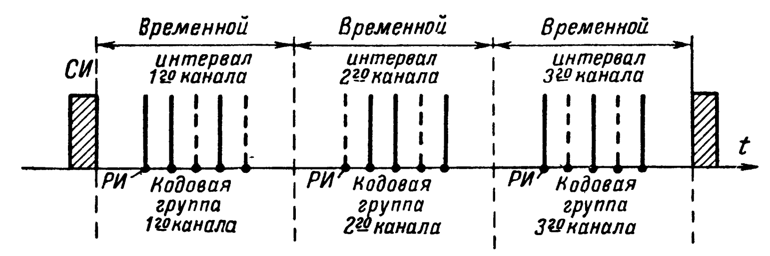
Во избежание искажений пределы перемещения рабочих импульсов не превышают некоторой части временного интервала, отведенного для каждого канала.

На приемной стороне после усиления всех импульсов в приемнике они с помощью специального электронного устройства распределяются по отдельным каналам, где преобразовываются в импульсы, изменяющиеся по длительности либо по амплитуде.

В гл. 4 при описании системы ФИМ будет показан бо-

лее подробно процесс разделения импульсов и выделения полезных сигналов по различным каналам.

Аналогичный способ осуществления многоканальности используется для радиолинии с кодовой модуляцией. Временной интервал тактовой частоты разделяется на n интервалов — по числу каналов. Каждому каналу соответствует



Фиг. 37. Принцип многоканальной передачи с временной селекцией при первичной кодово-импульсной модуляции.
СИ — синхронизирующий импульс; *РИ* — рабочие импульсы кодовых групп.

своя кодовая группа. В антенну кодовые группы импульсов высокочастотных колебаний подаются поочередно одна за другой. На приемной стороне с помощью синхронного распределителя электронного типа эти кодовые группы распределяются по дешифрирующим устройствам отдельных каналов. Фиг. 37 иллюстрирует этот принцип.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

СИСТЕМЫ МНОГОКАНАЛЬНЫХ РАДИОЛИНИЙ

Ранее было указано, что проблема распределения частот радиостанций выявилась сразу же, как только великое открытие А. С. Попова нашло широкое практическое применение.

Проблема увеличения пропускной способности радиолиний раньше, чем в других странах, начала разрабатываться у нас в СССР, на родине радио.

Первоначально решалась задача так, чтобы через один передатчик можно было вести одновременно телефонный разговор и телеграфную передачу.

Это особенно важно для радиолиний связи на коротких волнах, с помощью которых, как известно, перекрываются расстояния в несколько тысяч километров, например Москва — Владивосток, Москва — Хабаровск и т. п.

Группой советских инженеров под руководством проф. В. А. Котельника эта задача была удачно решена на основе новых принципов осуществления радиосвязи, с помощью которых по одной радиолинии связи можно вести телефонную передачу и несколько телеграфных. Эта система радиосвязи на коротких волнах является крупным достижением советской радиотехники.

СИСТЕМА МНОГОКАНАЛЬНОЙ РАДИОСВЯЗИ НА КОРОТКИХ ВОЛНАХ (ОРМ)

Идея такого способа многоканальной радиосвязи основана на возможности осуществления передачи речи одной боковой полосой частот и называется поэтому однополосной радиомногократной связью (ОРМ).

Исследованиями проф. П. В. Шмакова еще в 1925—1927 гг. было установлено, что при радиосвязи, как и в технике проводной связи, несущую частоту после модуляции можно не передавать, а восстановить ее в приемном пункте от местного генератора.

Для этого необходимо, чтобы частота местного генератора точно равнялась частоте генератора передатчика. Возможность радиосвязи с одной боковой полосой частот имеет очень большое значение, потому что на передачу несущей частоты передающая станция затрачивает обычно бóльшую часть излучаемой мощности. Следовательно, если несущая частота может не передаваться, то за счет этого может быть увеличена полезная мощность передаваемой полосы боковых частот. Таким образом, однополосная радиосвязь дает возможность лучше использовать мощность передающей радиостанции.

Блок-схема, поясняющая работу передающего устройства этой системы многоканальной радиосвязи, приведена на фиг. 38. Как видно из фиг. 38, на первый балансный модулятор $БМ_1$ в качестве первой несущей частоты подается частота $F_1 = 10\,000$ *гц* от генератора $Г_1$, а в качестве модулирующих частот подается полоса звуковых частот $400 \div 2\,600$ *гц*, частота 200 *гц* (от отдельного генератора), называемая «пилот-сигналом», и частóты $F_1 = 3\,240$ *гц*, $F_2 = 3\,960$ *гц* и $F_3 = 4\,680$ *гц*, которые служат для телеграфных передач с помощью ключей $К_1$, $К_2$ и $К_3$.

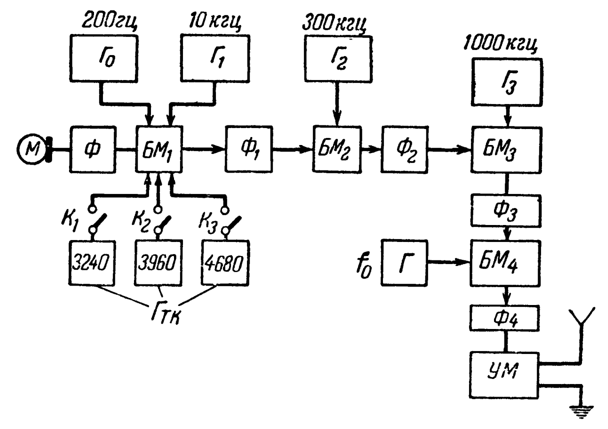
Частота 200 *гц* «пилот-сигнала» необходима на приемной стороне для автоматической подстройки гетеродина радиоприемника.

Ранее было отмечено, что балансный модулятор дает на выходе только боковые частоты, появляющиеся при модуляции. В данном случае на выходе балансного модулятора $БМ_1$ с помощью полосового фильтра $Ф_1$ выделяется полоса верхних боковых частот

$$F_1 + F_* = 10\,000 + F_*,$$

где F_* — спектр всех модулирующих частот.

Полученные частоты подаются на второй балансный модулятор $БМ_2$, у которого несущей частотой уже является



Фиг. 38. Скелетная схема передатчика для многоканальной передачи на одной боковой полосе.

М — микрофон; $Ф_1$, $Ф_2$, $Ф_3$ — полосовые фильтры; $Г_0$ — генератор частоты «пилот сигнала»; $Г_1$ — генератор первой несущей частоты $F_1 = 10\,000$ *гц*; $Г_2$ — генератор второй несущей частоты $F_2 = 300$ *кгц*; $Г_3$ — генератор третьей несущей частоты $F_3 = 1\,000$ *кгц*; *Г* — генератор радиочастоты; $БМ_1$, $БМ_2$, $БМ_3$, $БМ_4$ — балансные модуляторы; *УМ* — усилитель мощности передатчика; $Г_{тк}$ — генераторы частот телеграфных каналов.

частота $F_2 = 300$ *кгц*, получаемая от генератора $Г_2$. Как и после $БМ_1$, после $БМ_2$ с помощью полосового фильтра $Ф_2$ выделяется полоса верхних частот. Теперь это будут частоты:

$$F_2 + F_1 + F_* = 300\,000 + 10\,000 + F_*.$$

Полученная после фильтра $Ф_2$ полоса частот подается на третий балансный модулятор $БМ_3$, на который в качестве несущей частоты подается от специального генератора частота $F_3 = 1\,000$ *кгц*.

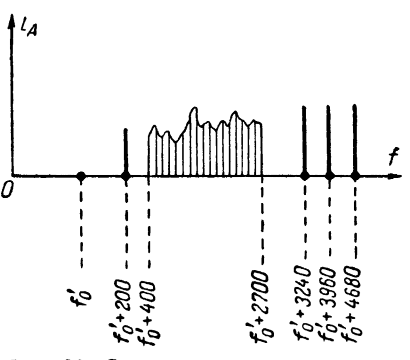
На выходе $БМ_3$ с помощью полосового фильтра $Ф_3$ выделяется, как и в предыдущих балансных модуляторах, верхняя полоса боковых частот.

Здесь эти частоты будут:

$$F_3+F_2+F_1+F_*=1\,310\ кгц+F_*.$$

Наконец, полоса частот $1\,310\ кгц+F_*$ подается еще раз на балансный модулятор $БМ_4$. На этот же модулятор от кварцованного задающего генератора передатчика подается высокочастотная несущая частота f_0. На выходе балансного модулятора получается спектр боковых частот:

$$f_0+F_3+F_2+F_1+F_*=$$
$$=f_0+1\,310\ кгц+F_*.$$



Фиг. 39. Спектр частот многоканальной радиолинии с одной боковой полосой.

Полученная полоса частот после усиления в усилителе мощности передатчика подается в антенну. Такой сложный процесс преобразования здесь применен потому, что на низких частотах легче выполнить полосовые фильтры, с помощью которых можно на выходе балансного модулятора отделить полосу верхних боковых частот от полосы нижних боковых частот.

Если принять величину $f_0+1\,310\ кгц=f_0'$, то передатчик будет излучать полосу частот

$$f_0'+F_*.$$

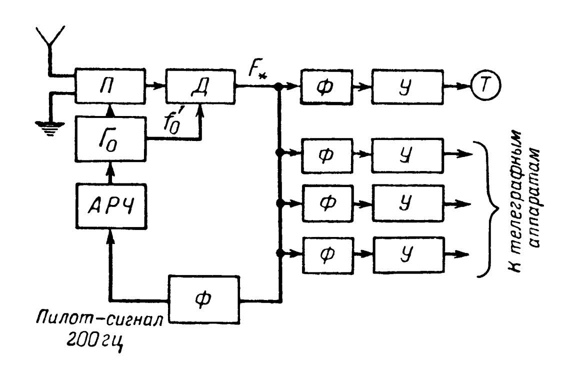
Этот спектр иллюстрируется фиг. 39, где $f_0'+200\ гц$—частота «пилот-сигнала», частоты от $f_0'+400\ гц$ до $f_0'+$ $+2\,600\ гц$ — частоты телефонного канала и частоты $f_0'+$ $+3\,240\ гц$, $f_0'+3\,960\ гц$ и $f_0'+4\,680\ гц$ — частоты телеграфных каналов.

Таким образом, передающее устройство системы ОРМ излучает энергию, которая несет только одну полосу боковых частот.

На приемной стороне (фиг. 40) после усиления всех принимаемых частот весь спектр подается на детекторный каскад, к которому подводится напряжение частоты f_0' от

специального гетеродина. После детекторного каскада, как и при обычной системе передачи, получается уже спектр низких частот, т. е. 200 *гц*, 400—2 600 *гц*, и частоты 3 240, 3 960 и 4 680 *гц*. С помощью полосовых фильтров частоты 400—2 700 *гц* направляются в усилитель и далее на телефоны, а частоты 3 240, 3 960 и 4 680 *гц* после усиления детектируются и управляют реле пишущих аппаратов.

«Пилот-сигнал», т. е. частота 200 *гц*, используется для автоматической подстройки частоты гетеродина с помощью специальной схемы. При однополосной системе радиотеле-



Фиг. 40. Скелетная схема приемного устройства радиолинии на одной боковой полосе.

П — приемник; *Д* — специальный детектор; $Г_0$ — гетеродин частоты f_0'; *АРЧ*—автоматическая подстройка частоты f_0' с помощью «пилот-сигнала», *Ф* — полосовые фильтры спектра частот F_*; *У*—усилители; *Т* — телефон.

фонии за счет увеличения мощности, приходящейся на передаваемую полосу частот, повышается отношение мощностей полезных сигналов к помехам примерно в 16 раз по сравнению с двухполосной передачей.

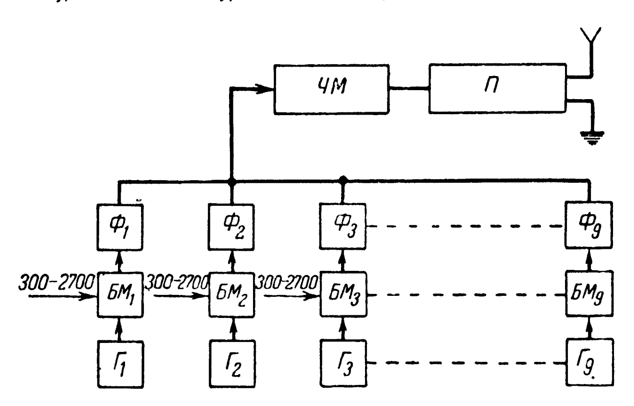
Рассмотренная система многоканальной радиосвязи обладает тем недостатком, что на коротких волнах для связи в течение суток приходится менять несущие частоты, поскольку в этом диапазоне волн в разное время суток наилучшие результаты можно получить на разных волнах, а также тем, что по радиолинии связи осуществляется всего только один телефонный канал.

Несравненно более благоприятные условия осуществления многоканальной радиосвязи имеются при использовании ультракоротких волн метрового диапазона, поскольку в этом диапазоне почти не сказываются атмосферные помехи; связь может быть надежной круглосуточной, и можно осуществлять по одной радиолинии связи многоканальную передачу сигналов аналогично тому, как по проводным линиям связи.

СИСТЕМА МНОГОКАНАЛЬНОЙ РАДИОСВЯЗИ НА УКВ С ЧАСТОТНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ И ЧАСТОТНОЙ СЕЛЕКЦИЕЙ

Принцип передачи большого числа телефонных разговоров с частотной селекцией каналов по радио целиком заимствован из техники многоканальной телефонии проводной связи.

Скелетная схема, поясняющая систему радиолинии на 9 каналов, приведена на фиг. 41. Здесь $Г_1$, $Г_2$, $Г_3$, ..., $Г_9$ — генераторы низких, так называемых поднесущих, частот ($F_1 = 9$ *кгц*, $F_2 = 15$ *кгц*, $F_3 = 27$ *кгц* и т. д. до $F_9 = 57$ *кгц*).



Фиг. 41. Скелетная схема передатчика многоканальной радиолинии.

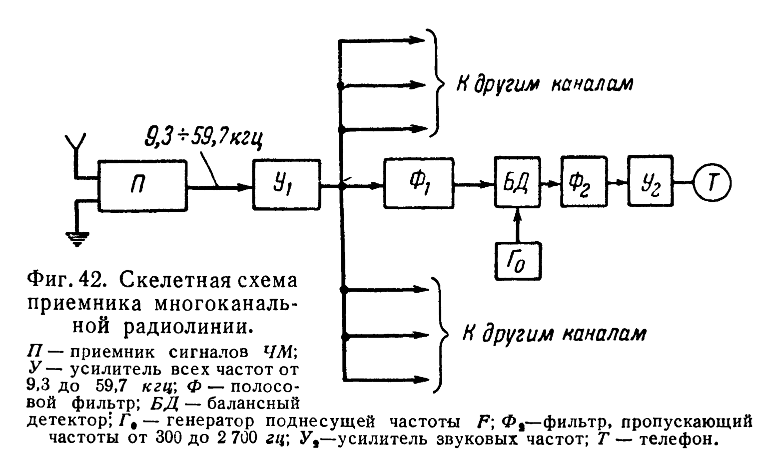
$Г_1$, $Г_2$, ..., $Г_9$—генераторы поднесущих частот; $БМ_1$, $БМ_2$, ..., $БМ_9$—балансные модуляторы; $Ф_1$, $Ф_2$, $Ф_3$, ..., $Ф_9$ — фильтры, выделяющие боковые частоты; *ЧМ* — частотный модулятор; *П*—передатчик.

Напряжение от каждого такого генератора подводится к балансным модуляторам $БМ_1$, $БМ_2$, $БМ_3$, ..., $БМ_9$. К каждому балансному модулятору подаются модулирующие напряжения с полосой частот 300—2 700 *гц* от отдельных телефонных линий. На выходе каждого балансного модулятора получаются верхние и нижние полосы боковых частот. После каждого балансного модулятора устанавливаются полосовые фильтры, пропускающие только верхние боковые полосы частот, и весь спектр боковых частот подается на модулятор передатчика.

Передающая станция в данном случае представляет собой передатчик с несущей частотой в пределах диапазона УКВ. Модуляция несущей частоты — частотная с отклонением частоты порядка 60 *кгц*.

На приемной стороне после обычного ультракоротковолнового приемника, предназначенного для приема колебаний с ЧМ за детекторным каскадом (фиг. 42), получается спектр частот 9,3 ÷ 59,7 *кгц*.

Первоначально с помощью фильтров из этого спектра выделяются частоты каждого канала, которые подводятся к специальным детекторным схемам. К каждой детекторной схеме подводятся напряжение от одного из полосовых фильтров и соответствующая по частоте поднесущая частота, получаемая от местного гетеродина. На выходе каждого детектора устанавливается полосовой фильтр с полосой пропускания частот 300—2 700 *гц*.



Фиг. 42. Скелетная схема приемника многоканальной радиолинии.

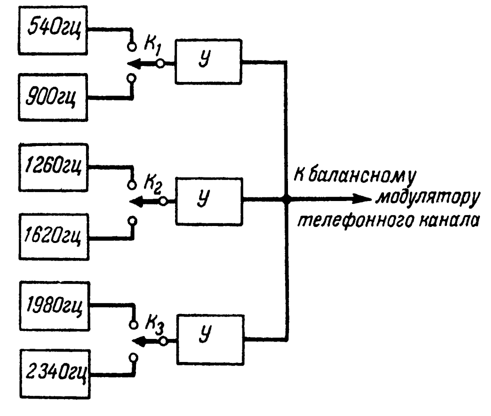
П — приемник сигналов *ЧМ*; *У* — усилитель всех частот от 9,3 до 59,7 *кгц*; *Ф* — полосовой фильтр; *БД* — балансный детектор; $Г_0$ — генератор поднесущей частоты *F*; $Ф_2$—фильтр, пропускающий частоты от 300 до 2 700 *гц*; $У_2$—усилитель звуковых частот; *Т* — телефон.

Интересной особенностью данной радиолинии является возможность использования всех 9 телефонных каналов для получения 27 телеграфных каналов. Это осуществляется следующим путем. На передающей стороне имеется для каждого телефонного канала по 6 тональных генераторов — по два на каждый телеграфный канал. Ключами $К_1$, $К_2$, $К_3$ посылаются сигналы телеграфных текстов. Ключом $К_1$ сигналы посылаются на частоте 540 *гц*, а во время пауз посылается частота 900 *гц*. Ключом $К_2$ посылаются сигналы на частоте 1 260 *гц*, а во время пауз посылается частота 1 620 *гц*. Наконец, третьим ключом $К_3$ посылаются сигналы на частоте 1 980 *гц*, а во время пауз посылаются частоты 2 340 *гц* (фиг. 43).

С выхода всех трех телеграфных каналов напряжения всех этих частот посылаются в модулятор телефонного ка-

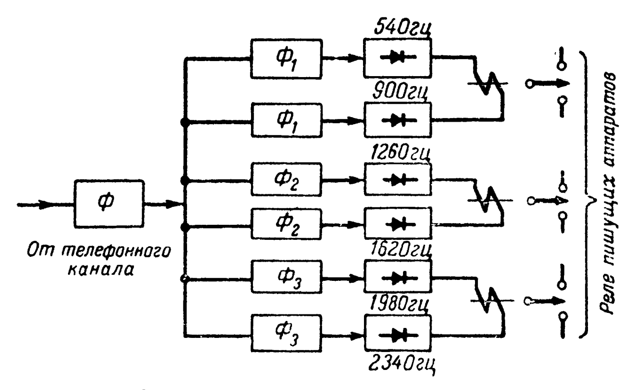
нала. Таких блоков имеется 9 для работы 27 телеграфными каналами по 9 телефонным каналам.

На приемной стороне (фиг. 44) при работе телеграфом с выхода фильтра Φ телефонного канала напряжение подается на систему фильтров Φ_1, Φ_2 и Φ_3, после которых все тональные частоты разделяются и после выпрямления управляют реле телеграфных аппаратов.



Фиг. 43. Схема использования телефонного канала для трехканальной телеграфной передачи.

Подобные радиолинии имеют антенны на мачтах высотой порядка нескольких десятков метров, и каждая пара станций может перекрывать расстояние от 30 до 60 *км* в зависимости от профиля местности. Например, на участке Москва—Ленинград для многоканальной связи в обе стороны подобных станций понадобилось бы около двух десятков.



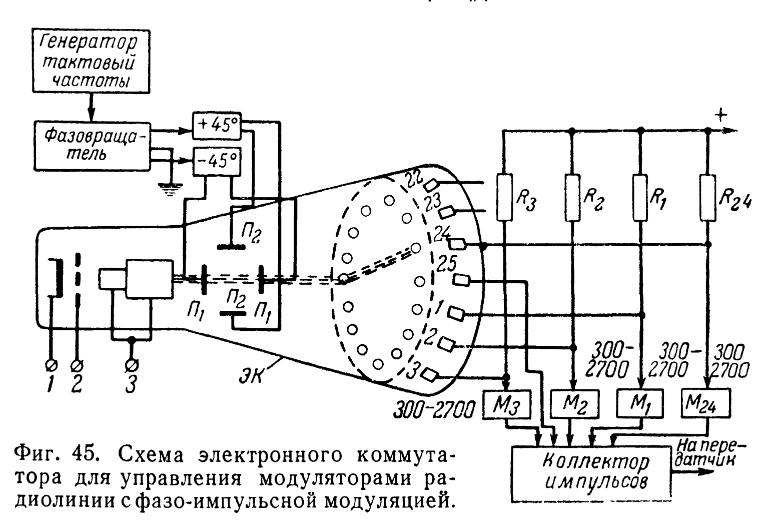
Фиг. 44. Схема разделения телеграфных сигналов на приемной стороне.

Общим недостатком систем многоканальных радиолиний с частотной селекцией каналов, как это выявилось в процессе эксплуатации, является взаимное влияние отдельных

каналов друг на друга при больших расстояниях между крайними пунктами связи. Происходит это из-за того, что на промежуточных станциях в усилительных каскадах приемников за счет нелинейности характеристик усилителей появляются так называемые комбинационные частоты, которые проникают в соседние каналы. С этой точки зрения более совершенными являются импульсные многоканальные радиолинии.

СИСТЕМА МНОГОКАНАЛЬНОЙ РАДИОСВЯЗИ НА ДЕЦИМЕТРОВЫХ ВОЛНАХ С ФАЗО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

Рассмотренные ранее преимущества фазо-импульсной модуляции в настоящее время реализованы в ряде систем многоканальной радиосвязи, которые подробно описаны в специальной технической литературе.



Фиг. 45. Схема электронного коммутатора для управления модуляторами радиолинии с фазо-импульсной модуляцией.

Следует отметить, что наиболее трудной задачей при решении проблемы многоканальной радиосвязи с фазо-импульсной модуляцией (ФИМ) является создание электронного переключателя, способного работать при таких скоростях переключений, как 8 000 ÷ 10 000 в секунду. Такими переключателями могут быть специальные ламповые схемы или специальные электронно-лучевые трубки, называемые

электронно-лучевыми коммутаторами. В настоящее время известно несколько различных типов электронных переключателей, они изучаются применительно к задачам техники многоканальной передачи и начинают уже практически применяться в некоторых системах.

В качестве примера выполненной радиолинии с ФИМ и с электронно-лучевыми коммутаторами рассмотрим систему радиолинии на 24 телефонных канала, работающую на волнах сантиметрового диапазона (λ = от 20 до 22 *см*).

Схема, поясняющая принцип работы оконечного оборудования передающей части радиолинии, приведена на фиг. 45. Здесь M_1, M_2, M_3 (модуляторы импульсов отдельных каналов) выполнены по схеме фиг. 16 и являются преобразователями модулирующего напряжения в меняющиеся по ширине импульсы. На каждый модулятор подаются управляющие импульсы от электронно-лучевой трубки, являющейся электронным переключателем или, иначе, коммутатором (*ЭК*). В рассматриваемом варианте этот коммутатор представляет собой устройство, во многом сходное с обычной электронно-лучевой трубкой, широко используемой в катодных осциллографах и телевидении. Отличие заключается в том, что на месте светящегося экрана у обычных трубок в электронном коммутаторе располагаются специальные электроды, дающие возможность получать от трубки кратковременные импульсы напряжения с жестко фиксированными временными интервалами.

Представленная на фиг. 45 электронно-лучевая трубка — коммутатор — представляет собой стеклянный баллон и содержит катод *1*, сетку *2* и ускоряющие и фиксирующие электроды *3*. Как и в обычных лампах, к сетке подводится отрицательный потенциал, регулированием величины которого можно влиять на величину потока электронов. К ускоряющим и фокусирующим электродам подводится положительный потенциал высокого напряжения. Выбором нужной величины напряжения на сетке и на фокусирующих электродах электронный поток фокусируется в тонкий пучок диаметром 0,2—0,25 *мм*. Электронный пучок проходит в пространстве между плоскими отклоняющими пластинами $П_1$ и $П_2$. Напряжением, приложенным к пластинам $П_1$ и $П_2$, достигается отклонение пучка электронов в нужную сторону. Контакты (ламели) *1*, *2*, *3*, . . . , *25* расположены по окружности. От каждого контакта сделан вывод наружу трубки. К ламелям через нагрузочные сопротивления R_1, $R_2, \ldots, R_{24}$ подводится положительный потенциал от источ-

ника анодного напряжения. Электронный пучок в трубке с помощью отклоняющих пластин $П_1$ и $П_2$ непрерывно движется по окружности.

Управление вращением электронного пучка трубки достигается тем, что к пластинам $П_1$ и $П_2$ подводятся два синусоидальных напряжения, имеющие сдвиг по фазе на 90° и получаемые от общего генератора, дающего колебания тактовой частоты 8—10 *кгц*. На пути электронного пучка к ламелям *1*, *2*, *3*, . . . , *25* помещен дисковый анод, имеющий отверстия против каждой ламели. Анод соединен с положительным полюсом источника высокого напряжения, которое значительно превышает напряжение, подаваемое через сопротивления R_1, R_2 и т. д. к каждой ламели. Благодаря специальной обработке ламелей поверхности их способны ко вторичной эмиссии. Так как электроны пучка имеют очень большую скорость, то при вращении пучка в моменты попадания его через отверстия на поверхности ламелей из них выбиваются вторичные электроны, которые притягиваются и улавливаются анодом. В эти моменты в цепях ламелей получаются кратковременные импульсы токов. Отверстия в аноде имеют небольшие размеры, чтобы при вращении электронного пучка длительность импульсов токов, получающаяся в цепях ламелей, не превышала нескольких микросекунд.

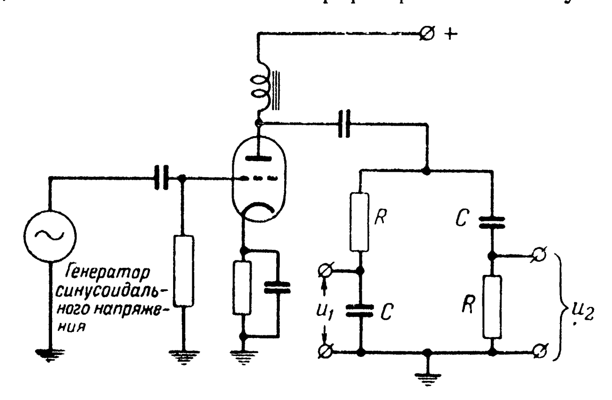
При вращении электронного пучка в трубке он попеременно попадает на ламели *1*, *2*, *3* и т. д., вызывая появление в цепях этих ламелей токов, которые на зажимах сопротивлений R_1, R_2, R_3 и т. д. создают импульсы напряжений. На 24 сопротивлениях импульсы напряжения предназначены для запуска 24 модуляторов. Импульс тока с 25 контакта предназначен для запуска генератора, вырабатывающего синхронизирующий импульс. Таким образом, электронный коммутатор переключает модуляторы отдельных каналов со скоростью 8 000—10 000 раз в секунду. Генератор синусоидального напряжения тактовой частоты выполняется с очень высокой стабильностью.

Получение двух напряжений, сдвинутых по фазе на 90°, осуществляется с помощью усилительного каскада, показанного на фиг. 46. Нагрузкой каскада служат две цепи из R и C. При одинаковых величинах сопротивлений R и сопротивлений конденсаторов C, при данной схеме соединений, напряжение u_1, снимаемое с зажимов емкости C, и напряжение u_2 зажимов сопротивления R оказываются равными по величине и сдвинутыми по фазе на 90°. Оба напря-

жения после усиления подаются на отклоняющие пластины $П_1$ и $П_2$ электронно-лучевой трубки.

При подобной системе получения запускающих импульсов временные интервалы между ними жестко определяются механической конструкцией электронно-лучевого коммутатора и стабильностью частоты генератора развертки.

Модуляторы $М_1$, $М_2$ и т. д. выполнены по схеме фиг. 16 и представляют собой схемы формирования импульсов пе-



Фиг. 46. Схема для получения напряжений, сдвинутых по фазе на 30°.

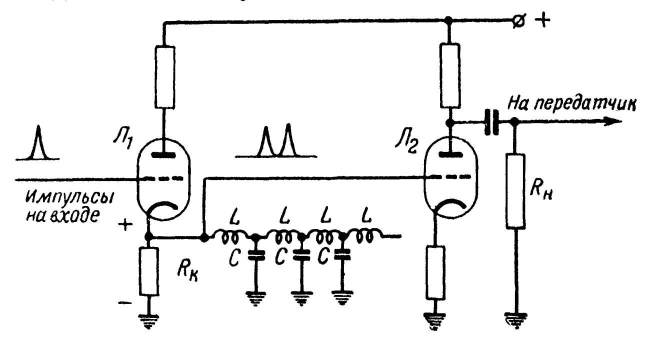
ременной длительности, от которых с помощью дифференцирования, как это было показано в гл. 2 (фиг. 20 и 21), получаются уже импульсы ФИМ.

Если величина тактовой частоты равна 8 *кгц*, то длительность периода равна 125 *мксек*. При этом для модуляции на каждый канал отводится временной интервал примерно 5 *мксек*. Длительность импульсов выбирается примерно равной 0,4 *мксек*. Такой режим работы может быть обеспечен только в диапазоне сантиметровых волн.

Интересной особенностью системы является получение синхронизирующего импульса.

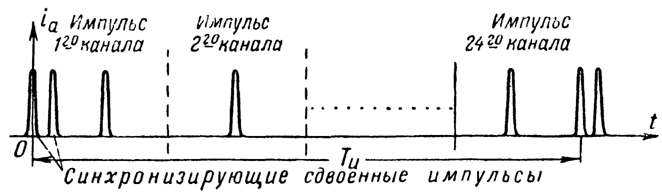
Управляющий импульс, полученный от ламели электронного коммутатора, подается на схему фиг. 47, где этот импульс сдваивается. На сетку лампы $Л_1$ подается управляющий импульс от 25-й ламели коммутатора. Лампа $Л_1$ имеет нагрузку $R_к$ в цепи катода, к которой подключена цепочка из L и C, называемая искусственной линией. На противоположном конце такая цепочка из L и C не имеет нагрузки. Благодаря этому импульс, снимаемый с зажи-

мов $R_к$, будет распространяться по цепочке из L и C от $R_к$. Дойдя до свободного конца цепочки, импульс отразится и будет перемещаться снова к сопротивлению $R_к$ с той же полярностью. В результате этого на сетку лампы $Л_2$ будут поданы два импульса: основной и дополнительный



Фиг. 47. Схема удвоения синхронизирующего импульса.

за счет отражения в искусственной линии. Сопротивление $R_к$ выбирается таким образом, чтобы отражения от него не было, благодаря чему процесс распространения импульсов заканчивается после промежутка времени, равного времени пробега импульса от $R_к$ и обратно. С зажимов $R_н$ снимается на передатчик сдвоенный импульс.



Фиг. 48. Синхронизирующие импульсы и импульсы каналов.

Напряжения от всех модуляторов и генератора синхронизирующего импульса подаются на суммирующий каскад, после которого получается последовательность импульсов с ФИМ (фиг. 48), т. е. сдвоенный синхронизирующий импульс и серия рабочих импульсов отдельных каналов. В процессе работы электронно-лучевого коммутатора и всех модуляторов передатчика радиолинии синхронизирующие импульсы за каждый период тактовой частоты занимают всегда фиксированное положение, а рабочие импульсы в пределах

временного интервала, отведенного каждому каналу, перемещаются от периода к периоду в соответствии с модуляцией. В данной системе на каждый канал отводится очень небольшой временно́й интервал, а именно 5 *мксек.* При модуляции положение рабочих импульсов каждого канала, таким образом, может теоретически изменяться в пределах этого интервала. Однако временно́й интервал, отведенный для каждого канала, используется на практике частично, так как необходимо, чтобы реальные импульсы, которые не являются идеально прямоугольными по форме, не влияли в процессе модуляции на соседние каналы. С целью максимально возможного ослабления взаимных помех между каналами пределы перемещения рабочих импульсов ограничиваются временны́м интервалом примерно ± 2 *мксек*, что достигается ограничением величины модулирующего напряжения, подаваемого на модуляторы с помощью специальных схем. Благодаря ограничителям импульсы одного канала не могут попасть в интервал времени, отведенный для другого канала.

Полученная последовательность импульсов подается на передатчик, где осуществляется вторичная модуляция, т. е. высокочастотные колебания управляются импульсами, модулированными по фазе.

В итоге антенна передатчика излучает высокочастотные импульсы, являющиеся переносчиками 24 телефонных разговоров.

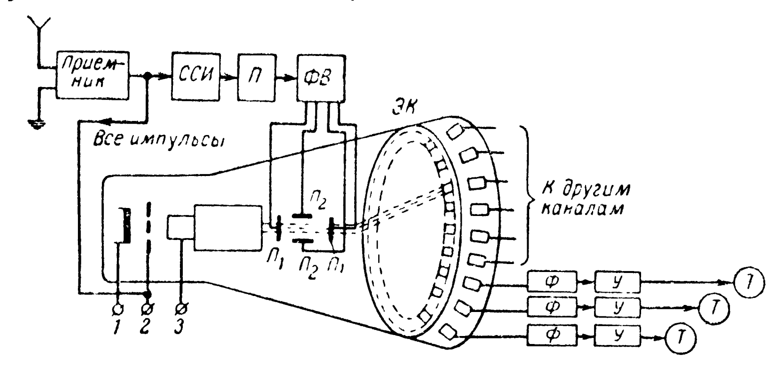
На приемной стороне высокочастотные импульсы принимаются приемной антенной, усиливаются приемником, детектируются и далее поступают в устройство, где производится разделение сигнальных импульсов и выделение полезных сигналов каждого канала.

Интересной особенностью данной системы радиолинии с ФИМ является то, что на приемной стороне можно использовать электронно-лучевой коммутатор, выполняющий роль и коммутатора каналов, и демодулятора сигналов.

Скелетная схема оборудования приемного конца радиолинии с использованием подобного коммутатора приведена на фиг. 49.

После приемника, где приходящие импульсные сигналы усиливаются и детектируются, получается последовательность импульсов постоянного напряжения точно такого вида, как и на модуляторе передающей стороны, т. е. сдвоенный синхронизирующий импульс и серия рабочих импульсов, как на фиг. 48. Непосредственно после детекторного

каскада приемника за счет того, что импульсы прошли тракт приемника, форма их несколько меняется по сравнению с формой импульса на модуляторе передатчика, а именно, импульсы принимают колоколообразную форму, т. е. основания их становятся более широкими, а верхушки более узкими, однако взаимное расположение их не меняется.



Фиг. 49. Схема электронного преобразователя импульсов ФИМ в импульсы АИМ и выделение полезных сигналов.

ЭК — трубка электронно-лучевого коммутатора (*1* — катод; *2* — управляющая сетка; *3*—анод); *ССИ*—селектор синхронизирующих импульсов; *П*—преобразователь синхронизирующих импульсов в синусоидальное напряжение; *ФВ*—фазовращатель, *Ф*—полосовые фильтры, *У*—усилители звуковых частот; *Т*—телефоны.

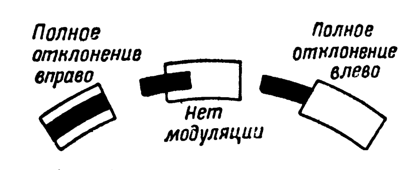
Исходя из принципа осуществления многоканальной работы, каждый импульс в течение периода должен попасть в свой канал. Для этого приемный коммутатор должен работать синхронно с передающим каналом. Из последовательности импульсов после детекторного каскада выделяются сначала синхронизирующие импульсы. С этой целью серия импульсов направляется одновременно в устройство, где из них выделяются только синхронизирующие импульсы, которые поступают на усилитель-преобразователь импульсов в синусоидальное напряжение. Затем это напряжение подается на каскад фазорасщепителя, где оно расщепляется на два одинаковые по величине напряжения, сдвинутые по фазе на 90°, и подается к управляющим пластинам электронно-лучевой трубки. По другому пути последовательность всех импульсов подается на усилитель и далее на управляющую сетку электронно-лучевой трубки коммутатора.

Электронно-лучевой коммутатор устроен так же, как и на передающей стороне, т. е. электронный луч при вращении его электрическим полем пластин $П_1$ и $П_2$ описывает

окружность. Пучок электронов скользит по цепи из 24 ламелей. К этим ламелям подключены фильтры низкой частоты, усилители и телефоны.

Распределение и преобразование принятых импульсов в АИМ происходят следующим образом.

Электронный луч вращается в трубке, описывая окружность. Если рассматривать случай сначала, когда все импульсы не модулируются, то каждый из них получается равноотстоящим друг от друга.



Фиг. 50. Преобразование импульсов тока ФИМ в импульсы АИМ.

На приемной стороне эти импульсы подаются на управляющую сетку трубки — коммутатора, которая нормально закрыта и открывается только приходящими импульсами. В этих условиях пучок электронов приемной трубки будет существовать не непрерывно, а кратковременно, только в те моменты, когда будут приходить импульсы.

Поскольку к пластинам $П_1$ и $П_2$ трубки приложено синусоидальное напряжение со сдвигом фаз, равным 90°, электронный пучок будет вращаться (вернее, каждый раз, когда он будет возникать, он будет, перемещаясь вдоль окружности, попадать на следующую ламель).

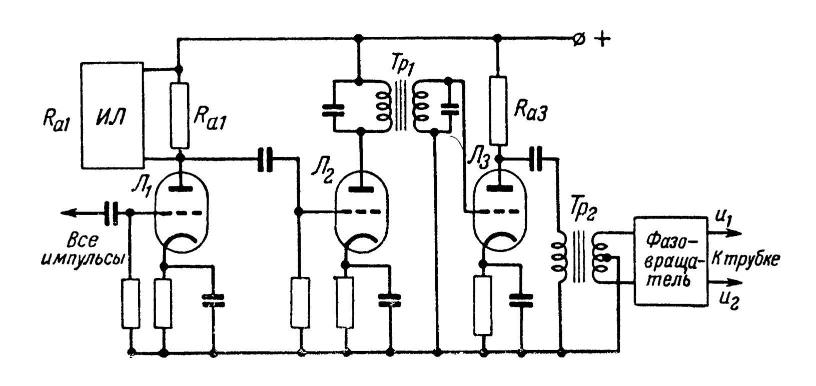
В трубке перед ламелями установлена диафрагма из металлического диска с отверстиями против ламелей. При этих условиях возникающие импульсы, когда нет модуляции, проникают частично (на половину) через отверстия на ламели и при вращении пучка вызывают в цепи каждой ламели импульсы тока. Если же теперь какой-либо импульс будет модулирован по положению, т. е. будет приходить раньше или позже, то электронный пучок в приемном коммутаторе соответствующего канала будет возникать либо раньше, либо позже (фиг. 50). При этом электронный пучок будет частично или полностью проникать через диафрагму, и электронный пучок создаст импульсы тока в цепи ламелей.

В результате того, что не все электроны могут проникнуть через отверстие, величина импульсов тока будет изменяться строго по тому закону, по какому будет меняться положение импульса.

Таким образом, при вращении электронного пучка получается распределение импульсов по соответствующим каналам, а благодаря тому, что у принимаемых импульсов имеет

место модуляция положения, т. е. ФИМ, они в трубке преобразовываются в импульсы АИМ.

Импульсы, модулированные по амплитуде в цепи каждого канала, подаются, как и ранее было рассмотрено, на фильтры, где выделяются полезные сигналы, которые после усиления подаются к телефонам.



Фиг. 51. Схема преобразования синхронизирующих импульсов в синусоидальное напряжение.

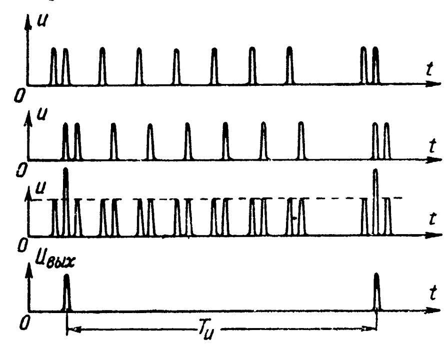
Очень интересной особенностью в данной схеме является также выделение из последовательности импульсов синхронизирующего импульса и преобразование его в синусоидальное напряжение. Принципиальная схема такого устройства приведена на фиг. 51.

Здесь $Л_1$ является усилительным каскадом. В анодную цепь лампы включена искусственная линия *ИЛ* из элементов *L* и *C* в точности такая же, какая была применена на передающей стороне для удвоения синхронизирующего импульса. В этой схеме на сетку лампы $Л_2$ будет поступать вся последовательность принятых импульсов и такая же последовательность импульсов, но с некоторым запаздыванием за счет того, что каждый импульс будет пробегать вдоль линии, отражаться от ее разомкнутого конца и поступать на сетку $Л_2$.

Если искусственная линия имеет время пробега в оба конца, равное интервалу между двумя синхронизирующими импульсами, то тогда на сетку $Л_2$ будут поступать все импульсы, имеющие такой вид, как показано на фиг. 52. При выбранных условиях синхронизирующий импульс будет

удвоенным по амплитуде. Режим лампы $Л_2$ подбирается так, чтобы она нормально была закрыта смещением на сетке. В этом случае из всей последовательности импульсов она будет открываться тем импульсом, который будет иметь удвоенную амплитуду.

В результате в анодной цепи лампы $Л_2$ будет возникать только один импульс за период следования, а именно будет выделяться синхронизирующий импульс. Выделенный синхронизирующий импульс подается далее через трансформатор *Тр* на лампу $Л_3$. Трансформатор настроен в резонанс на первую гармонику частоты следования, поэтому на лампу $Л_3$ будет уже подаваться синусоидальное напряжение, фаза которого жестко связана с положением синхронизирующего импульса. Синусоидальное напряжение далее подается на каскад расщепления напряжения на два напряжения, сдвинутые по фазе на 90°. Этот каскад совершенно аналогичен каскаду расщепления фазы, приведенному ранее на фиг. 46.



Фиг. 52. Процесс выделения синхронизирующего импульса.

Для того чтобы импульсы каналов попадали в соответствующие им приемные каналы, предусматривается также возможность фазу синусоидального напряжения на входе расщепителя фаз менять в некоторых пределах. На схеме это не показано.

В подобных системах линий радиосвязи обычно на мачте каждой радиостанции расположены две антенны: передающая и приемная. Обе антенны направлены в сторону радиостанции, с которой поддерживается связь. Передатчики и приемники у некоторых систем располагаются в аппаратных помещениях и соединяются с антеннами специальными кабелями, способными пропускать высокочастотную энергию импульсов без значительных потерь.

В ряде систем на мачтах размещаются не только антенны, но также передатчики и приемники. В этом случае оборудование, содержащее модуляторы и демодуляторы, размещается в аппаратных, т. е. отдельно от передатчиков

и приемников. Для управления работой передатчика по соединительному кабелю от модуляторов каналов из аппаратных подаются импульсы напряжения, т. е. видеоимпульсы.

Приемное устройство, помещенное на мачте у антенны, обычно содержит только входные цепи и преобразователь частоты с гетеродином. После преобразования напряжение промежуточной частоты в виде импульсов подается по соединительному кабелю к усилителям промежуточной частоты в аппаратную, к детектору и затем к демодуляторам. Полученные после демодуляторов сигналы отдельных каналов из аппаратной направляются по телефонным проволочным линиям связи к обычным телефонным аппаратам абонентов.

Если радиостанция является промежуточной, а не конечной, то ее антенная система является еще более сложной и содержит два комплекта передающих и приемных антенн (по одному комплекту на каждое направление). В этом случае после детекторного каскада приемника каждого направления все импульсы после усиления в общем усилителе подаются на модулятор передатчика и управляют его работой, т. е. демодуляция импульсов не производится. Питание ламп передатчиков и приемников различными напряжениями осуществляется от источников, находящихся в аппаратной.

Таким образом, по цепочке подобных радиостанций между двумя городами с рассмотренной системой ФИМ можно вести в одну и другую стороны одновременно 24 телефонных разговора.

Использовав принцип телеграфии, рассмотренный в системе радиолинии на УКВ с частотной модуляцией (фиг. 43), можно и здесь получить три телеграфных передачи в каждом телефонном канале.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ И СИСТЕМ

Заканчивая на этом краткое освещение методов и систем многоканальной радиосвязи, следует отметить, что рассмотренные принципы и некоторые конкретные системы многоканальной радиосвязи не решают еще полностью всех вопросов. Одни системы, в частности системы с использованием для радиосвязи одной боковой полосы частот на коротких волнах, разрешают осуществить только малое

число каналов. Другие системы с использованием радиоволн ультракоротковолнового диапазона и частотной селекции при частотной модуляции несущей хотя и позволяют иметь большое число каналов связи, но при больших расстояниях между пунктами связи, когда необходимо иметь большое число промежуточных радиостанций, дают ухудшение качества связи за счет накопления помех от станции к станции. Это является существенным недостатком таких систем, не говоря уже о том, что сам метод частотной селекции требует громоздких и дорогих устройств, какими являются различного рода фильтры, обеспечивающие разделение сигналов, принадлежащих различным каналам.

Более простое и дешевое оборудование может быть в системах многоканальной передачи с использованием временной селекции. Однако и импульсные системы многоканальной передачи с использованием электронно-лучевых коммутаторов не лишены недостатков. К ним относятся, в первую очередь, трудности изготовления трубок коммутаторов, производственный процесс которых требует чрезвычайно высокой точности. Кроме того, возможный выход из строя трубки коммутатора на передающей или приемной стороне вызывает прекращение работы всех каналов линии связи.

Если оценивать возможности импульсных линий связи в отношении помехоустойчивости, то подобно линиям с частотной селекцией каналов радиолинии с фазо-импульсной модуляцией при больших расстояниях также дают накопление помех от станции к станции, за счет чего ухудшается качество связи между конечными пунктами. Возможность применения импульсно-кодовой модуляции, позволяющей практически иметь связь без помех, в настоящее время не может быть реализована из-за того, что устройства для получения импульсно-кодовой модуляции еще более сложны в производстве, чем электронно-лучевые коммутаторы. Следует отметить, что простого конструктивного решения для модулятора, дающего кодово-импульсную модуляцию, еще не найдено. Разумеется, эта проблема является временной и перспективы использования КИМ для целей многоканальной радиосвязи на УКВ несомненны.

В настоящее время в технике многоканальной радиосвязи находят практическое применение как различные принципы, так и различные системы, которые выбираются в зависимости от расстояния между пунктами связи и назначения самих радиолиний связи. Каждая из систем при

этом находит свои области применения. Так, например, системы с амплитудной модуляцией при использовании одной боковой полосы частот находят применение на коротких волнах, системы с частотной селекцией и частотной модуляцией — на волнах метрового диапазона, а системы с фазо-импульсной модуляцией — при использовании дециметрового диапазона.

Следует, наконец, отметить, что для увеличения числа каналов намечается в будущем использование, комбинированных методов передачи сигналов, а именно: использование частотной селекции и временной селекции.

Если импульсами с первичной модуляцией модулировать вспомогательные высокие поднесущие частоты, а этими поднесущими модулировать ультравысокую несущую частоту передатчика, то при 12 каналах на каждой поднесущей частоте и 8 поднесущих частотах общее число возможных телефонных каналов будет равно $8 \times 12 = 96$. Такое число каналов возможно только при использовании для связи сантиметровых волн.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проблема расширения диапазона частот, которыми можно пользоваться для нужд связи, в значительной мере способствовала развитию радиотехники. Если первоначально для радиосвязи пользовались длинными волнами, затем средними и короткими, то сейчас, когда освоен еще и диапазон ультракоротких волн, растущая потребность в числе каналов не может быть решена простыми путями. Стремление увеличить число возможных каналов связи выдвинуло проблему осуществления многоканальной передачи, которая, как это было показано выше, имеет целый ряд возможных решений.

Рассмотренные методы и системы многоканальной радиосвязи иллюстрирует возможности и достижения радиотехники за последние годы. Необъятные пространства Советского Союза и рост культуры в условиях социалистического общества требуют новых и совершенных средств связи. Такими средствами и являются многоканальные радиолинии.

Намечаемое в перспективе широкое применение радиовещания на ультракоротких волнах с использованием широкополосной частотной модуляции открывает возможности осуществления одновременной передачи через одну радио-

станцию нескольких программ, т. е. многоканального вещания.

Развитие и применение многоканальных радиолиний связи между городами открывают широкие перспективы обмена радиовещательными программами и трансляции телевизионных передач из столицы нашей Родины Москвы в областные центры, ибо только радиолинии УКВ обеспечат возможность передачи телевизионных сигналов на большие расстояния.

Современная радиотехника настолько богата достижениями, что порой кажется, что все, что ранее когда-то было фантазией, сейчас разрешено в действительности. Но, как говорил П. Н. Рыбкин в 1945 г. по случаю празднования в нашей стране 50-летней годовщины изобретения радио:

«...Оно пришло в наш быт и нашу технику, оно нам дорого еще и тем, что радио еще не сказало своего последнего слова. Будущее радио еще впереди».

Развитие техники многоканальной радиосвязи — яркий пример, подтверждающий эти слова.

Совершенствование радиотехнических средств, обеспечивающих возможности многоканальной радиопередачи, идет по нескольким направлениям. С одной стороны, совершенствуются радиопередающие и радиоприемные устройства, с другой,— совершенствуются антенны и электронные устройства. Кроме того, изучаются и совершенствуются сами методы осуществления радиосвязи. Техника радио движется быстро вперед, и здесь еще можно ожидать много новых достижений, изобретений и открытий.

Советские ученые, пользуясь поддержкой партии и правительства нашей страны, не прекращают своих исследований по использованию радио на службе Родины на благо героического советского народа, строящего коммунизм.

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

Предисловие 3

Глава первая. **Общие понятия о радиосвязи** 5

Задачи радиотелефонной связи 5
Простейший способ радиотелефонной связи 5
Радиорелейные линии связи 6

Глава вторая. **Методы модуляции колебаний в радиосвязи** 8

Основные понятия и определения 8
Амплитудная модуляция 9
Частотная модуляция 12
Амплитудно-импульсная модуляция и ее особенности 15
Широтно-импульсная модуляция и ее особенности 17
Фазо-импульсная модуляция 23
Кодовая импульсная модуляция 29

Глава третья. **Принципы многоканальной передачи** 34

Общие сведения о каналах связи 34
Метод многоканальной передачи с использованием частотной селекции сигналов 35
Метод многоканальной передачи с временной селекцией сигналов 38

Глава четвертая. **Системы многоканальных радиолиний** . . . 42

Система многоканальной радиосвязи на коротких волнах (ОРМ) 43
Система многоканальной радиосвязи на УКВ с частотной модуляцией и частотной селекцией 47
Система многоканальной радиосвязи на дециметровых волнах с фазо-импульсной модуляцией 50
Сравнительная оценка различных методов и систем 60

Заключение 62

ДОПУСТИМЫЕ ОТКЛОНЕНИЯ ЧАСТОТЫ ДЛЯ РАДИОСТАНЦИЙ

Диапазон частот и категория станций	Допустимые отклонения частоты, %	
	для существующих передатчиков до 1953 г.	для передатчиков, установленных после 1949 г., и для всех передатчиков с 1953 г.
А. От 10 до 535 кгц		
Фиксированные станции	0,1	0,02
Подвижные станции	0,3	0,05—0,1
Радионавигационные станции	0,05	0,02
Радиовещательные станции	20 пер/сек	20 пер/сек
Б. От 535 до 1 605 кгц		
Радиовещательные станции	То же	То же
В. От 1 605 до 4 000 кгц		
Фиксированные станции	0,01—0,02	0,01—0,005
Подвижные станции	0,05	0,02
Радионавигационные станции . . .	0,02	0,01—0,005
Радиовещательные станции	0,005	0,005
Г. От 4 000 до 30 000 кгц		
Фиксированные станции	0,01—0,02	0,01—0,003
Подвижные станции	0,05	0,02
Радиовещательные станции	0,005	0,003
Д. От 30 до 100 мггц		
Фиксированные станции	0,03	0,02
Подвижные станции	0,03	0,02
Радионавигационные станции . . .	0,02	0,02
Радиовещательные станции	0,01	0,003
Е. От 100 до 500 мггц		
Фиксированные станции	0,03	0,01
Подвижные станции	0,03	0,01
Радионавигационные станции	0,02	0,02
Радиовещательные станции	0,01	0,003

ДЕЛЕНИЕ РАДИОВОЛН НА ДИАПАЗОНЫ (УСЛОВНЫЕ)

Частоты	Волны	Наименование диапазонов	
Ниже 100 *кгц*	3 000 *м* и более	Длинные волны	
100—1 500 „	3 000—200 *м*	Средние волны	
1 500—6 000 „	200—50 „	Промежуточные волны	
6—30 *мггц*	50—10 „	Короткие волны	
30—300 „	10—1 „	Метровые	Ультракороткие волны
300—3 000 „	1—0,1 „	Дециметровые	
3 000—30 000 „	10—1 *см*	Сантиметровые	

Цена 1 р. 50 к.